VOL. 8, Nº 3-4 PUBLICACION TRIMESTRAL SELPER SEPT. - DIC. 1992

SELPER

REVISTA TÉCNICA, DE INTEGRACIÓN IBEROAMERICANA Y MUNDIAL
REVISTA TÉCNICA, DE INTEGRAÇÃO IBERO-AMERICANA E MUNDIAL
TECHNICAL REVIEW FOR IBERO-AMERICAN AND WORLDWIDE INTEGRATION

esa
european space agency
agence spatiale européenne

8-10 rue Mario Nikis - 75738 PARIS Cedex 15 - FRANCIA.
Tel: (33.1) 42 73 76 54 - Tlx: 202746 ESA - Fax: (33.1) 42737560

Revista SELPER

SOCIEDAD DE ESPECIALISTAS LATINOAMERICANOS EN PERCEPCION REMOTA
SOCIEDADE DE ESPECIALISTAS LATINO-AMERICANOS EM SENSORIAMENTO REMOTO
SOCIETY OF LATINAMERICAN SPECIALISTS ON REMOTE SENSING

VOL. 8 Nº 3-4 EDICION TRIMESTRAL SEPT. - DIC. 1992

FOTO PORTADA: *Sector imagen SPOT sobre Islas Galápagos, Ecuador (CNES, SPOT Image; Fotografías Fauna: Jean-Luc Devynck, CNES, Francia).*

FOTO CONTRAPORTADA: *Afiche Conmemorativo del VI Simposio Latinoamericano de Percepción Remota (Fuente: IGAC y SELPER / Colombia).*

REVISTA SELPER
Director Editorial: Prof. Mauricio Araya - Figueroa
(Vice-Presidente 1980-83, Presidente SELPER 1983-86, Vice-Presidente 1986-89)
Presidente Madero 795 (Ñuñoa), Santiago, Chile. Fono: 6967583, Télex: 240501 - BOOTH CL. Fax: (56.2) 6981474

EJEMPLAR DE DISTRIBUCION GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DIRECTORIO SELPER, SEDE PERU 1991 - 1993

Apartado 4992 - Lima, Perú
Tel.: (5114) 410425 - Fax: (5114) 414606

PRESIDENTE
Ing. WALTER DANJOY ARIAS, Perú

VICE-PRESIDENTE
Ing. MIGUEL SANCHEZ -PEÑA
Argentina

VICE-PRESIDENTE
Ing. RICARDO COLOMA DE LAS CASAS
Perú

VICE-PRESIDENTE
Ing. LUIS CARLOS MOLINA M.
Colombia

SECRETARIA GENERAL
Geog. ZOILA RODRIGUEZ
Perú

TESORERO
Ing. GUILLERMO MANRIQUE
Perú

RELACIONES INTERNACIONALES
Dr. ROBERTO PEREIRA DA CUNHA
Brasil

COORDINADOR NACIONAL EN PERU
Ing. VICTOR BARRENA-ARROYO

DOCENCIA E INVESTIGACION
Dr. Román Alvarez / Cristina Serafini
México Argentina

DIRECTOR EDITORIAL
Prof. MAURICIO ARAYA FIGUEROA
Chile

CAPITULOS NACIONALES SELPER - COORDENAÇOES NACIONAIS SELPER

CAPITULOS CONSTITUIDOS

ARGENTINA:
Prof. Natalia Marlenko, Azcuénaga 1051, 4º A. (1115) Buenos Aires, Argentina. Tel.: (541) 824.5006.

BRASIL:
Ing. Paulo César Gurgel de Alburquerque, Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE, Avda. Dos Astronautas 1758 - P. O. Box 515,(12201) São José dos Campos, SP. Tel.: (123) 418977; Tlx.: 33530; Fax: (123) 218743

CHILE:
Ing. Roberto Richardson V., Comité de Asuntos Espaciales (CAE), Ministerio de Defensa Nacional. Tarapacá 1129, Piso 2. Santiago, Chile. Tel.: (562) 6981691

COLOMBIA:
Ing. Luis Carlos Molina, Presidente Soc. Colombiana de Fotointerpretación y Sensores Remotos. IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Carrera 30, NR 48-51. Apartado Aéreo 53754, Bogotá. Telét: 2680190. FAX (571) 2680004.

ECUADOR:
Cnel. Fabián Durango, CLIRSEN. Seniergues S/N y Gral. Paz y Miño, 4º piso, Edificio IGM. Aptdo. 8216. Quito, Tel: (593-2) 549-472 y 542-700, Tlx: 2775, Clirsen ed. Fax: (593-2) 581-066

MEXICO:
Dr. Román Alvarez, Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. Apartado Postal 20-850. 01000, Mexico, D.F. Telét: 548-40-86 - 550 - 5215, Ext. 4302, FAX: 548-40-86.

PERU:
Ing. Víctor Barrena-Arroyo, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional La Molina. Apartado 456, La Molina, Perú. Tel.: (5114) 512780, Fax: (5114) 377912

VENEZUELA:
Ing. Gustavo Ruiz, Jefe Centro Procesamiento Digital de Imágenes (CPDI), Instituto de Ingeniería. Apartado 40.200, Caracas 1040 A. Telét: 962-1124. FAX: 962-1025.

CAPITULOS EN FORMACION

BOLIVIA:
Ing. Juan Carlos Quiroga-Mendizaval, Centro de Investigaciones de la Capacidad de Uso Mayor de la Tierra (CUMAT). Av. Busch 1896, Casilla 1, 10387. La Paz, Bolivia. Fax: (591.2) 375496.

COSTA RICA:
M. Sc. Carlos L. Elizondo, Instituto Geográfico Nacional, Aptdo. Postal 2272. 1000 San José de Costa Rica. Telét: (506) 272128, ext. 26. Télex: 2493 MOPT.

CUBA:
Ing. Eloy Pérez-García c/o Ing. Lucas Fernández-Reyes, Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. Loma y 39. Nuevo Vedado, Ciudad de La Habana, Cuba. Tel.: 3-9966 ext. 69; Fax: (53.7) 625.604/5

EL SALVADOR:
Ing. Jorge García Escobar, Ministerio de Agricultura y Ganadería. Rep. Los Rosales Pje. 2 Nº 14-C San Salvador, El Salvador.

GUATEMALA:
Ing. Carlos Lemmerhoffer A., Supervisor Técnico, Instituto Geográfico Nacional (IGN). 23 Avenida 31-60, Zona 12. Guatemala 01012. Telét: (502-2) 764071. FAX. (502-2) 343412

JAMAICA:
Ing. Christian Wolffe, College of Arts, Science and Technology. 237 Old Hope Road, Kingston 6, Jamaica. Tel.: (809) 92-71680/8. Fax: (809) 92-71925.

PANAMA
Aura Beatriz Reina Lewis, Dirección General de Recursos Minerales. Apdo. 6-5213 El Dorado. Panamá. Tel.: (507) 36-1823/36-1825.

PARAGUAY:
Ing. Facundo S. Recalde Ramos, Servicio Forestal Nacional. Tacuari entre 25 de Mayo y Cerro Corá. Edificio Patria 4, 6º piso. Asunción, Paraguay. Tel.:493793 (Oficina).

REP. DOMINICANA:
Ing. Orlando Adams I., Instituto Geográfico Universitario. Calle El Vergel 57. Santo Domingo, Rep. Dominicana. Telét: 5672823.

URUGUAY:
Cap. Edilberto Viar, Coordinador Nacional (P). Servicio Geográfico Militar. 8 de Octubre 3255. C.P. 11600, Montevideo. Teléfonos: 816868 - 816810

CAPITULOS ESPECIALES

ALEMANIA:
Dr. Klaus Reiniger, Deutsche Forschungsanstalt Für Luft-Und Raumfahrt (DLR). D-8031 Oberpfaffenhofen, Deutschland. Tel.: (08153) 28897. T-fax: (08153) 281343, Tlx: 5270287 dadf d.

CANADA:
Dr. Fritz P. Dubois, 25 Midland CRS, Nepean ONTARIO KH2 - 8N2. Telét: (613) 596-4164. FAX: (613) 723-9626. Canadá.

ESPAÑA:
Dr. José L. Labrandero, Presidente de la Asociación Española de Teledetección (AET). Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Pinar 25. Madrid 28006. España. Tel: (91) 411.10.98 y 261.53.08, Fax: (91) 262.55.67

USA:
Dr. Luis Bartolucci, Mid. America Remote Sensing Center (MARC). Murray State University, Murray, Kentucky 42071, U.S.A. Telét: (502) 762-2591-2085. FAX: (502) 762-4417

FRANCIA:
Dr. Jean-Luc Devynck, Centre National d'Etudes Spatiales (CNES). Chef Dpt. Coopération et Développement. 2, Place Maurice Quentin, 75039 Paris Cedex 01, Francia. Télex: 214674 F CNESP. Teléfono: 45087566. FAX: (1) 45087773.

HOLANDA:
Dr. Carlos Valenzuela, ITC, 350 Boulevard 1945. P.O.X. 6. 7500 AA Enschede, Holanda. Tel.: (053) 874.444/241. Fax: (053) 874.400.

PORTUGAL,
Actualmente en formación.

KENIA, GANA, NIGERIA, ETIOPIA:
Actualmente en formación.

COMITE EDITORIAL

DIRECCION EDITORIAL

DIRECTOR EDITORIAL
Prof. Mauricio Araya F. (Chile)
Presidente SELPER (1983-86)

Subdirector Editorial
Ing. Jorge Tapia C. (Chile)

Coordinación Publicaciones
Dr. Paulo Roberto Martini (Brasil)
Ing. Olga Florencia Casal (Argentina)
Geog. Zoila Rodriguez (Perú)
Lic. Etelvina Reno Dias Arbex (Brasil)

COMITE PUBLICACIONES (SELPER-CHILE)

Editor Técnico
Sr. Hernán Figueroa R.
Arte y Dibujo
Sr. Roberto Piña O.
Traducción e Interpretación
Prof. Mauricio Araya F.
Srta. Adriana Vidaurre O.
Diagramación Electrónica
Sr. A. Freddy Riquelme R.
Secretaria/Digitadora
Srta. Rosy Arce R.

IGM (CHILE)

Sr. Director del Instituto Geográfico Militar
Crl. Martín Muñoz Baeza
Sr. Sub-Director del IGM
Crl. Marcelo Escobar Fuentes

COMITE DE EXPERTOS

ARGENTINA
Ing. Miguel Sánchez-Peña
Presidente SELPER (1989-91)
Ing. Marcelo Campi
SVDSA
BRASIL
Dr. Roberto Pereira Da Cunha
INPE - Presidente SELPER (1986-89)
Ing. Paulo Cesar Gurgel de Albuquerque
Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE)
CANADA
Ing. Fritz P. Dubois
DATACAP/CIDA
COLOMBIA
Ing. Luis Carlos Molina
Ing. Myriam Ardila
Instituto Geográfico Agustín Codazzi
IGAC (ex CIAF), SCFR
CHILE
Tcl. Pablo Gran López
Crl. Jorge Tapia Castillo
Instituto Geográfico Militar (IGM)
ECUADOR
Ing. Patricio Toledo
Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN)
Ing. Alberto Segovia Ch.
Presidente SELPER (1980-83)
EE.UU.
Dr. Luis Bartolucci
Murray State University (MARC)
MEXICO
Dr. Jorge Lira
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ing. Alfonso Zarco (INEGI)
PERU
Ing. Walter Danjoy Arias
ONERN - Presidente SELPER (1991-93)
Ing. Oscar Sakay H. (APAFA)
VENEZUELA
Ing. Gustavo Ruiz (CPDI)
Geog. Francisco Guerra (CPDI)

INDICE TEMATICO

Pág.

PRESENTACION 4

SECCION ARTICULOS TECNICOS Y CIENTIFICOS

- SISTEMA DE ANALISIS DIGITAL DE IMAGENES, V. 2.0
  Jorge Lira y Rosario Landgrave (México) 5
- A SYSTEM FOR DIGITAL IMAGE ANALYSIS, V. 2.0
  Jorge Lira and Rosario Landgrave (Mexico) 11
- TELEDETECCION DE LA ERUPCION DEL 19 DE ABRIL DE 1991 EN LA ISLA FERNANDINA
  Hugo Pérez Oviedo (Ecuador) 16
- SEGMENTATION OF TEXTURES IN SAR IMAGES BY REGION GROWING AND ENTROPY SCHEMES
  Jorge Lira (Mexico), Severino Fernandez and Victoriano Moreno (España) 19
- ANALISIS DE TEXTURAS EN IMAGENES SAR
  Jorge Lira (México), Severino Fernández y Victoriano Moreno (España) 26
- SINERGISMO RADAR ERS-1 / TM LANDSAT
  Ing. Marcelo Guevara N. (Ecuador) 34
- ERS-1 : EL ESPACIO AL SERVICIO DE NUESTRO AMBIENTE
  Laurent Polidori (ESA, Francia) 39

PATROCINIO IBEROAMERICANO E INTERNACIONAL ..... 42 - 48

- ESA, European Space Agency (Europa)
- CNES, Centre National d'Etudes Spatiales (Francia)
- DLR, Deutsche Forschungsanstalt Für Luft-Und Raumfahrt (Alemania)
- IGM, Instituto Geográfico Militar (Chile)
- INTERA (Canadá)
- MDA, McDonald Dettwiler Associates (Canadá)
- INTERGRAPH (EE.UU.)
- I²S, International Imaging Systems (EE. UU.)
- ASHTECH (EE. UU.)

Fotocomposición: G.C.A. PUBLICIDAD LTDA.
Catedral 1063, Local 1053. - Fono/Fax: 6994851, Santiago, Chile
Separación de Colores: MACHADO,
Rafael Prado 403 - Fono 2740530 - Fax: 2254133, Santiago, Chile
Impreso en los Talleres Gráficos del INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR
Nueva Santa Isabel 1640 - Teléfono: 6968221
TLX: 441677 IGMCZ. - Fax: 6988278 - Santiago, Chile

EJEMPLAR DE DISTRIBUCION GRATUITA — **PROHIBIDA SU VENTA**

SELPER
Directorio Central
Sede Perú
1991 - 1993

NOTA DEL EDITOR

Prof. MAURICIO ARAYA-FIGUEROA
Presidente SELPER 1983 - 1986

Este número de la Revista SELPER aparece con un retraso significativo, producto de las difíciles circunstancias económicas y políticas de nuestra Iberoamérica, situación que necesariamente repercute en nuestra Sociedad.

Sin embargo, debido a un gran esfuerzo de continuidad realizado por las Sede SELPER Perú y la Sede SELPER Colombia, coordinado con el Comité Editorial de SELPER, ha sido posible finalmente producir esta edición, que creemos será de gran interés y utilidad para nuestra comunidad científica, dada la calidad de los artículos incluidos.

Destacan las contribuciones del Dr. Jorge Lira (UNAM, México) quien propone un Sistema de Análisis Digital de fácil uso y que está disponible, en forma gratuita, para todos los Socios de SELPER que lo soliciten. También se incluye un interesante Análisis Digital de Texturas en Imágenes de Radar (SAR), tema que está cobrando una gran importancia, debido al lanzamiento del Satélite Europeo ERS-1. Debido a la trascendencia de estas dos contribuciones, se solicitó al Autor la inclusión de una versión en inglés, para dar una mayor amplitud de aplicación a estos trabajos de investigación.

Se presentan, además, dos notables contribuciones de Investigadores del CLIRSEN, Ecuador, sobre Erupciones Volcánicas y Sinergismo de Imágenes LANDSAT/TM y ERS-1/SAR. Finalmente, para completar este importante panorama de uso, que se abre con esta nueva herramienta de imágenes de Radar, se incluye una breve reseña sobre resultados generales obtenidos hasta ahora con el sistema ERS-1, que representará un excelente complemento a la información LANDSAT, SPOT, NOAA y otros sistemas normalmente utilizados en Percepción Remota.

Creemos que es importante mantener la continuidad de las Publicaciones SELPER, aunque existan retrasos por causas de fuerza mayor ajenas a nuestra voluntad. El esfuerzo que realizan los Autores para contribuir con sus investigaciones, la labor del Comité Editorial Internacional por salir adelante con estas ediciones, el importante apoyo de las Instituciones Latinoamericanas (IGM, ONERN, IGAC, INPE y otras) e Internacionales (ESA, DLR, CNES, MDA, I²S, ASHTECH, INTERGRAPH, INTERA, ITC y otras), bien merecen verse materializados en estas ediciones, que son el mejor ejemplo de una cooperación internacional efectiva realizada durante tantos años.

SELPER
Directorio Central
Sede Colombia
1993 - 1995

SISTEMA DE ANALISIS DIGITAL DE IMAGENES, V. 2.0

Jorge Lira y Rosario Landgrave

Instituto de Geofisica-UNAM - A. P. 22-560
14000 México D.F.

Resumen

La versión 1.0 del Sistema de Análisis Digital de Imágenes (SANDI), anteriormente reportada (Lira et al., 1988) ha sido rediseñada y reeditada. La versión : 2.0 actual porta más de 70 módulos operados por menús. Todos los módulos están escritos en TurboPascal 6.0 operando bajo DOS 5.0. Se requiere de 1 MB RAM, coprocesador matemático y ratón, además de un disco duro para almacenar las imágenes digitales. El sistema, trabajando en una PC 386 ó 486 está dividido en dos grandes grupos: Procesamientos y Realces y Reconocimiento de Patrones. Un grupo de utilerías para desplegar y manipular las imágenes se encuentra disponible en varios lugares del paquete. La ventana de despliegue es desplazable empleando llaves preprogramadas conjuntamente con varias paletas de color incluyendo blanco y negro. Las imágenes son desplegadas a través de tarjetas de despliegue comerciales y son almacenadas en formato libre DOS, estando lógicamente relacionadas con etiquetas de control que incluyen información sobre el tamaño de la imagen, historia del procesamiento y un comentario del usuario. Las principales aplicaciones están dedicadas a la Percepción Remota. Este sistema está disponible, libre de costo, a la Comunidad de Especialistas, en particular ligados a SELPER.

INTRODUCCION

Una tasa de alta productividad en nuevos métodos de procesamiento digital de imágenes y reconocimiento de patrones ha sido sustentada en la última década; el ritmo actual no muestra signos de declinar, por el contrario nuevas revistas y articulos especializados emergen de manera constante. De aqui que un medio amplio para probar nuevos modelos y métodos de análisis de imágenes se vea deseable. Este medio debe traducirse en un sistema de propósito general, de carácter modular y lo más transportable posible. El gran desarrollo en el campo de las microcomputadoras, combinado con las nuevas tarjetas de despliegue comerciales de alta resolución, sugiere que una PC-386 ó 486 sea una plataforma adecuada para soportar tal sistema. El sistema debe ser fácilmente actualizable ya que su principal objetivo es apoyar las actividades de investigación en el análisis digital de imágenes. Cada adición o actualización de un módulo incrementa la capacidad de análisis del sistema, trayendo beneficios adicionales al proceso tales como proporcionar capacidad de aplicaciones rutinarias. Al imponer un sistema basado en una PC se restringe automáticamente el uso de ciertos sistemas operativos y define un número de lenguajes a ser empleados.

No obstante, el progreso en velocidad, desarrollo de memoria, compiladores y sistemas operativos para PCs predice la disponibilidad de un amplio medio para el procesamiento de imágenes en un futuro próximo.

Existen una variedad de paquetes comerciales (PCI, IPLIB, MIPS, ITEX, VISILOG, IMAGE PRO, ERDAS, y DRAGON)*, cuyos precios van desde mil hasta varias decenas de miles de dólares y trabajando en varias plataformas y medios computacionales. Algunos otros paquetes están publicados en la literatura con diferentes capacidades y medios de operación (Bernstein y Ferneyhough, 1975; Wharton y Turner, 1981; Landy et al., 1984; Harrington et al., 1986; Bryant, 1990; Sader y Winne, 1991) incluyendo algoritmos para gráficas y procesamiento de imágenes (Pavlidis, 1982). Algunos de ellos están especializados hacia una tarea especifica (Wharton y Turner, 1981; Bryant, 1990) y otros hacia un campo definido como la Percepción Remota (Bernstein y Ferneyhough, 1975; Landy et al., 1984), un sistema experto (Schowengerdt y Wang, 1989), o para educación (Sader y Winne, 1991).

Presentamos aquí un sistema modular de propósito general, operado por menús, transportable bajo MS DOS 5.0, fácilmente expandible y totalmente escrito en TurboPascal 6.0, cuyo objetivo principal es apoyar las actividades de investigación y desarrollo en el área de análisis digital de imágenes, aún cuando también es empleado para actividades educacionales. Nuestro sistema presenta las siguientes caracteristicas: 1.- Su diseño es funcional, 2.- Está estructurado en cuanto a tareas de realces y reconocimiento de patrones, 3.- Su operación es amigable y 4.- Es de fácil actualización, 5.- SANDI es una plataforma para soportar nuevos desarrollos, probar métodos y algoritmos en el área de análisis de imágenes en general. La estructura y operación de este sistema está descrita en las siguientes dos secciones.

** Esta no es una lista completa como tampoco una recomendación.*

Estructura de SANDI

Antes de cuantificar las propiedades de un patrón es generalmente requerido el realzarlo o ponerlo en evidencia. En muchas ocasiones un patrón o una clase de patrones no está bien diferenciado con respecto al resto de la imagen, ruido, borrosidad, interacción interpixel o inhomogeneidades en la iluminación pueden oscurecer u ocultar la presencia de un patrón haciendo difícil su identificación. Un realce es en general requerido para poner en evidencia al patrón previo al proceso de reconocimiento; esta suposición básica es la que define la estructura (Fig. 1) de SANDI. Los Procesamientos y Realces son clasificados de acuerdo al tipo de operación que emplean, así entonces los Realces Radiométricos están para la manipulación del histograma de la imagen. Los Realces Geométricos son para poner en evidencia algunos aspectos geométricos de la imagen. Los Realces de Fidelidad son básicamente restauraciones a la imagen, ya que tienden a aproximar, lo más fielmente posible, una imagen degradada a un modelo ideal de la misma. Reconstrucción y Compresión utiliza zoom por splines e interpolación lineal y reducción de la imagen por decimación, es decir eliminando un pixel si y otro no. Las Operaciones al Conjunto son empleadas para transformar una imagen multiespectral como un todo. Cada una de estas secciones incluye un conjunto de operaciones de acuerdo al diagrama (Fig. 1) de SANDI.

La Sección de Reconocimiento de Patrones está subdividida en Patrones Espaciales y Espectrales, aún cuando entre estas secciones existe una relación estrecha. La segmentación de patrones espectrales incluye una técnica por densidad del histograma, un clasificador no-supervisado utilizando el Algoritmo de Isodata (Tou y González, 1974) y un clasificador Bayesiano (Richards, 1986) empleando el principio de máxima verosimilitud. Un Algoritmo de Crecimiento de Regiones (Wahl, 1987) está incluido conjuntamente con los siguientes predicados de uniformidad: a).- Diferencia de Promedio, b).- Correlación y c).- Entropía, el primero para segmentar por tonos y los dos últimos para segmentar por texturas. Un analizador contextual basado en la matriz de co-ocurrencia y con el criterio de entropía trabaja para imágenes monoespectrales y es específicamente adecuado para análisis de imágenes de radar. En lo que concierne a Patrones Espaciales, el paquete incluye segmentación orientada hacia la detección de líneas, manipulaciones algebraicas de bandas, operaciones para imágenes clasificadas donde cada clase se maneja como un conjunto y morfología matemática (Serra, 1982) en dos y tres dimensiones, conjuntamente con aplicaciones selectas. Un grupo de utilerías se incluye en lugares selectos del paquete para apoyar la manipulación de las imágenes.

Internamente, SANDI está distribuido en programas y unidades del TurboPascal, los menús forman un grupo aparte de programas. Las unidades agrupan un cierto número de procedimientos para aplicaciones especializadas, otras unidades incluyen procedimientos para manejo de archivos, reportes y manejo del despliegue de las imágenes. La adición de nuevos algoritmos involucra únicamente la actualización del menú y la unidad donde el programa o procedimiento es incluido; la recompilación por tanto está restringida a ésta parte del sistema. El control de menús, los reportes sobre errores y el progreso de una operación es llevada a cabo por procedimientos especialmente diseñados que pueden ser fácilmente modificados para acomodar nuevas tareas.

Las imágenes son almacenadas en formato libre DOS ("raster") con un tamaño de bloque igual al número de columnas de la imagen; las etiquetas son manejadas en archivos separados con bloques de 128 bytes; entre las etiquetas y las imágenes existe una relación lógica. El máximo tamaño de las imágenes está restringido a 1024 x 1024 pixels, básicamente debido a las limitaciones que impone el DOS. Para la Transformada de Fourier, el tamaño está limitado a imágenes de orden 2^n (con n entero) y el crecimiento de regiones a 400 x 400 pixels. Los clasificadores espectrales, supervisado y no-supervisado, operan con 7 bandas y 10 clases máximo. El análisis canónico, por otro lado, trabaja hasta para 5 clases y 7 bandas. Para imágenes de 1024 x 1024 se emplea un Algoritmo de Transpuesta Rápida (Huang, 1981) en la Transformada de Fourier, ya que ésta se encuentra implantada como una cascada de dos transformaciones unidimensionales.

Se emplea un byte por pixel en las imágenes, con excepción de aquellas temporales donde, con varios grados de precisión pueden requerirse dos, cuatro u ocho bytes por pixel. Los archivos temporales son automáticamente borrados una vez que la operación ha terminado. Las etiquetas de control (Fig. 2) necesarias para identificar una imagen son generadas empleando una de las utilerías. Las etiquetas incluyen el tamaño de la imagen, número de pixels por línea y número de líneas, número de procesamientos recibidos y un comentario por el usuario de 80 caracteres máximo. Un comentario de la historia de procesamientos aplicados a la imagen es agregado cada vez que una operación es aplicada a ésta.

En la siguiente figura, k es un entero y si m = número de etiquetas de historia y si m (mod 2) = 0, entonces k = m (div) + 1, de otra manera k = m (div) + 2.

Byte Nº	1	2	3	4
Byte Bajo, # de Líneas	Byte Alto, # de Líneas	Byte Bajo, # de Pixels/Línea	Byte Alto, # de Pixels/Línea	
Byte Nº	5	128	k- 128	Archivo de Imagen
# de Etiquetas de Historia	Etiquetas del Usuario	Etiquetas de Historia	Datos de Imagen	

FIG. 2. - ESQUEMA DE UN ARCHIVO DE ETIQUETAS ASOCIADO A UN ARCHIVO DE IMAGEN.

Las imágenes son identificadas por su nombre y por la extensión PDI (Procesamiento Digital de Imágenes), aquellas sin etiquetas llevan la extension IMA (Imagen). Los archivos de etiquetas tienen el mismo nombre y extensión que la imagen con la cual son asociados, sin embargo residen en un subdirectorio diferente. Otras extensiones son utilizadas para el Espectro de Frecuencias de Fourier (AMP), para las partes real (TFR) e imaginaria (TFI) de la Transformada de Fourier. Varias extensiones son empleadas también para los archivos temporales. Otras extensiones empleadas son las siguientes: ISO para las imágenes clasificadas con el

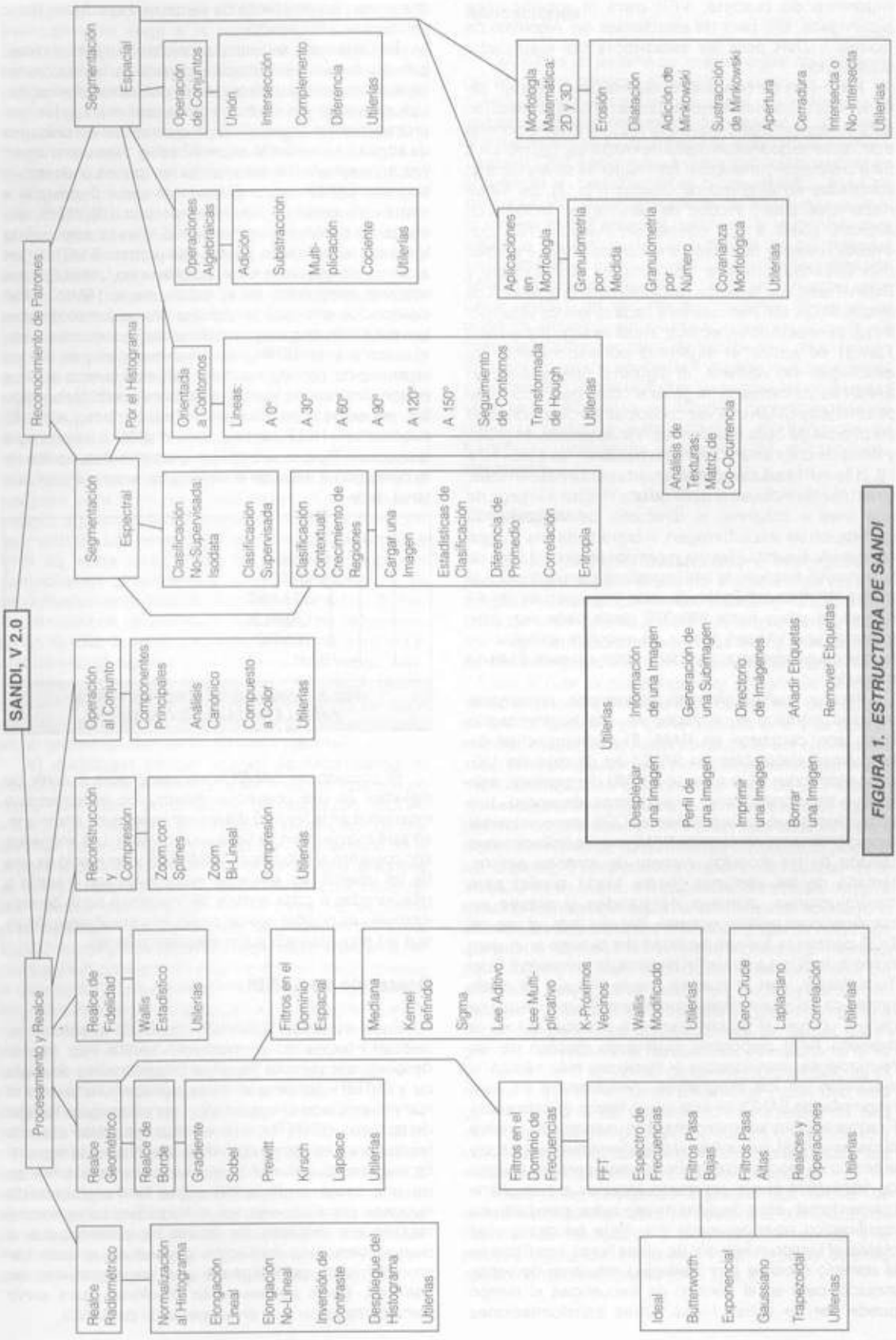


FIGURA 1. ESTRUCTURA DE SANDI

Algoritmo de Isodata, VER para la clasificación supervisada, DIS para las estadísticas del Algoritmo de Isodata y DVR para las estadísticas del clasificador supervisado.

Por medio de otra utilería, las etiquetas pueden ser removidas (borradas) dejando únicamente la información pertinente a la imagen, la que a su vez puede ser exportada a otro sistema de análisis digital de imágenes. Los módulos para desplegar y manipular las imágenes se encuentran contenidos en el grupo de utilerías (Fig. 1). Se tienen disponibles cuatro modos de despliegue: MCGA con 320x200 pixels a 256 colores simultáneos, VGA con 640x480 pixels a 16 colores simultáneos, SVGA-Paradise con 640x480 pixels a 256 colores simultáneos y SVGA-Tseng con la misma resolución que la anterior. Los modos SVGA son particulares a cada tarjeta de video por lo que es necesario especificar a cual de ellas (Paradise o Tseng) se aplica el algoritmo correspondiente de despliegue. No obstante, el algoritmo que se tiene en SANDI es suficientemente general como para acomodar otras tarjetas SVGA una vez conocidas las direcciones de los puertos de cada una de ellas. Varias paletas de grises y tonos de color están preprogramadas en las llaves F2 a F6, la llave F1 está siempre reservada para ayuda en línea. otras utilerías incluyen el perfil de una imagen a lo largo de una línea o columna, el directorio de imágenes, la generación de una subimagen, el borrado de una imagen incluyendo sus etiquetas y la impresión en tonos de gris de una imagen empleando una impresora compatible con la norma HP (Hewlett-Packard); esta impresión es en 64 niveles de gris y hasta 290x370 pixels cada vez; para imprimir una imagen mayor se requiere generar un mosaico. La impresora laser debe tener al menos 2 MB de memoria.

Para un manejo eficiente de memoria, únicamente aquellos módulos involucrados en una transformación dada son cargados en RAM. El número actual de programas ejecutables en SANDI es de más de 120, ocupando todos ellos más de 2.5 MB de memoria, esto incluye transformaciones y programas de apoyo. Las restricciones que aún prevalecen en DOS concernientes al direccionamiento de memoria RAM, impone limitaciones al tamaño de los módulos, número de archivos activos, tamaño de las ventanas (hasta 11x11 pixels) para convoluciones, número de bandas y clases en clasificaciones multiespectrales. Por otro lado, el uso del DOS permite la transportabilidad del sistema a un gran número de PCs. La aparición reciente de la versión 7.0 del TurboPascal, con el que se puede manejar el modo protegido del microprocesador de una PC y con el que se genera código de 32 bits, permitirá direccionar toda la memoria RAM disponible eliminando muchas de las restricciones mencionadas y haciendo más rápida la ejecución de los programas. Actualmente se está recompilando SANDI en este nuevo marco de operación. Finalmente todas las limitaciones son un compromiso entre la memoria RAM disponible, el direccionamiento al disco y el tiempo de procesamiento. Por ejemplo para una imagen de 1024x1024 pixels, las manipulaciones al histograma pueden tomar varias decenas de segundos, pero para una clasificación no-supervisada con siete bandas y diez clases, el tiempo puede ser de varias horas. Los filtros en el dominio espacial (por ventanas) requieren de varios minutos, pero en el dominio de frecuencias el tiempo puede ser de varias horas. Otras transformaciones demandan generalmente de varios minutos. Estos datos son para una PC 386/33.

En cada menú se tiene disponible una ayuda en línea, que va de una explicación general a instrucciones específicas acerca de la operación de una transformación. Los mensajes de control y error son manejados por procedimientos especializados que residen en unidades de apoyo. La instalación específica (Fig. 3) es como sigue: todos los programas ejecutables residen en el directorio llamado SANDI, los manejadores para depliegue e impresión están en el subdirectorio DRIVERS, las imágenes en el subdirectorio IMAGES, las estadísticas de los datos clasificados en el subdirectorio STATIST, los archivos de etiquetas en el subdirectorio LABELS, y los archivos temporales en el subdirectorio TEMPO. Aún cuando los archivos temporales son automáticamente borrados al fin de cada procedimiento que requiere su uso, el subdirectorio TEMPO es útil cuando un proceso es interrumpido por alguna razón, en este evento el error puede ser trazado o el archivo temporal puede ser borrado sin necesidad de ninguna tarea de búsqueda. El subdirectorio HELP contiene todo el texto necesario para la ayuda en línea, la que incluye una breve descripción de la operación a iniciarse e instrucciones para iniciar una tarea dada.

```
├─SANDI
│   ├─DRIVERS
│   ├─IMAGES
│   │   ├─STATIST
│   │   ├─LABELS
│   │   ├─TEMPO
│   ├─HELP
```

FIG. 3.- ARREGLO DE SUBDIRECTORIOS PARA LA INSTALACIÓN DE SANDI.

El copiado de SANDI a un disco duro a partir de diskettes es una operación directa; los subdirectorios mostrados en la figura 3 deben ser creados de antemano, en este momento no se tiene un instalador. Las imágenes son copiadas al subdirectorio IMAGES y por medio de una de las utilerías, las etiquetas respectivas son creadas y relacionadas a cada archivo de imagen, a partir de este momento es posible aplicar cualquiera transformación ya que las etiquetas son automáticamente leídas.

Operación de SANDI

En el comando C:\SANDI> de DOS, el sistema es invocado tecleando simplemente SANDI esto trae al despliegue la pantalla inicial de presentación y después de <ENTER> se tiene el menú principal. Tecleando el número asociado a la selección, o empleando las flechas del teclado y <ENTER>, el usuario puede acceder a una de las dos grandes ramas de SANDI descritas en la figura 1. En cada menú, la llave F1 trae una subventana donde se da una breve explicación sobre la transformación invocada por el usuario, las instrucciones de operación también son incluidas. Se asume no obstante, que el usuario tiene una formación general en el área del procesamiento de imágenes y el reconocimiento de patrones. Estas ayudas están diseñadas para servir únicamente como guía en la operación de SANDI.

Siguiendo la trayectoria adecuada (Fig. 1) el usuario eventualmente llega a la transformación específica deseada, en este punto se muestran secuencialmente varios submenús donde se solicita: los nombres de las imágenes de entrada y salida, el valor de los parámetros, cuyo rango de validez se indica entre paréntesis y algunas otras decisiones necesarias para iniciar la aplicación. Si la transformación está relacionada con imágenes multiespectrales, el número y nombre de las bandas son solicitados. En aquellos módulos donde se requiere una interacción dinámica con la imagen, se incluye un editor gráfico que permite al usuario manipular el ratón, las flechas del teclado y las paletas. Esto es útil para los clasificadores y el análisis canónico que requieren de la definición de polígonos para marcar pixels prototipo (campos de entrenamiento). La ayuda tiene tarnbién información sobre el uso del editor gráfico. La última opción de cualquier menú siempre indica el inmediato anterior, con la excepción del menú principal en donde se regresa a DOS, de esta manera el usuario puede ir hacia adelante o hacia atrás en el árbol de opciones del diagrama de SANDI.

Inmediatamente después que una transformación es iniciada, aparece una ventana donde se reporta el progreso de la tarea, se proporcionan: el nombre de la imagen, el paso y el tipo de proceso y la línea de la imagen bajo análisis. Los tiempos inicial y final se despliegan al final de cada tarea. Para la descomposición en componentes principales y el análisis canónico, se proporcionan otros reportes tales como: el vector de media, la matriz de covarianza, el porcentaje de información en las bandas de salida y la matriz de correlación. Para el crecimiento de regiones y los clasificadores espectrales, se proporcionan las estadísticas de cada clase, incluyendo la distancia J-M (Richards, 1986). En cada caso el sistema permite al usuario el imprimir o almacenar en un archivo la información de estos reportes.

El despliegue de una imagen se hace dando su nombre en primera instancia, a continuación aparece un menú con cuatro posibilidades de resolución: MCGA, VGA, SVGA-Paradise y SVGA-Tseng; la selección de una de éstas pone la imagen en el monitor. Si el tamaño de la imagen excede a la de la ventana de despliegue, entonces se activa el desplazamiento ("scroll") de ésta por medio de las flechas del teclado. En la llave F2 se tiene preprogramada una paleta lineal de grises, en la F3 una logarítmica de grises, una Arcotangente de grises en la F4, una paleta de color en la F5 y para imágenes de compuesto a color se tiene una paleta en F6, la paleta original de la tarjeta de despliegue es leída y almacenada en la llave F7.

En toda transformación las etiquetas de la imagen de entrada son leídas y transmitidas al archivo de las etiquetas de la imagen de salida, el contador sobre el número de procesamientos es incrementado en uno y la etiqueta respectiva de historia de procesamiento es añadida. Todas las operaciones de convolución están restringidas a ventanas cuadradas, impares de tamaños que van desde 3x3 hasta 11x11 pixels. Alrededor de 600 kB de memoria RAM es requerida para correr cualquiera aplicación de SANDI, pero si por alguna razón la memoria es escasa, entonces todos los clasificadores pueden ser invocados separadamente ya que éstos son autónomos en cuanto al despliegue y manejo de la imagen.

Aplicaciones

SANDI es un sistema de análisis digital de imágenes de propósito general aplicable a cualquier área de investigación en donde se requiera el procesamiento de imágenes y el reconocimiento de patrones, si bien hasta ahora el énfasis en su uso ha sido en la percepción remota. También SANDI es empleado para apoyar las labores de enseñanza en un curso sobre procesamiento digital de imágenes que se ofrece regularmente a nivel de maestría. El sistema es empleado en prácticas de laboratorio para ilustrar a los estudiantes el potencial de los métodos expuestos en el curso. En actividades de investigación SANDI ha sido empleado con éxito en proyectos para hacer análisis de texturas en imágenes de radar de apertura sintética, en clasificaciones espectrales de imágenes multiespectrales de satélite para dilucidar uso de suelo, en segmentación de imágenes multiespectrales para identificación de litologías, en segmentación de áreas urbanas y suburbanas, en estudios geohidrológicos de cuencas cerradas y en estudios morfológicos de partículas utilizando imágenes de microscopio electrónico.

Conclusiones

Hemos diseñado, desarrollado e implantado un paquete para análisis digital de imágenes, de carácter amigable y operado por menús. El paquete funciona bajo DOS que es un sistema operativo de amplio uso por lo que su transportabilidad está asegurada en una gran cantidad de microcomputadoras. Con la aparición del TurboPascal 7.0 con el cual es posible generar códigos de 32-bits y direccionar toda la memoria RAM disponible, los módulos de SANDI operarán en forma más eficiente y se podrán manejar imágenes de hasta 2048x2048. Por otro lado es importante puntualizar que con la situación actual de las microcomputadoras el análisis de más de una imagen multiespectral de satélite es poco realista en este tipo de plataformas; una estación de trabajo sería adecuada para el procesamiento de varias de estas imágenes. El plantear un sistema transportable impone necesariamente limitaciones en cuanto a la capacidad de análisis; requerir plataformas mas poderosas harían menos transportable el sistema. En este contexto, el alcance y tipo de proyectos que pueden atacarse con un sistema como el presentado aquí deben de ser cuidadosamente definidos de antemano. Proyectos de pequeña y mediana escala son factibles con SANDI, los proyectos de gran envergadura deben ser trabajados con estaciones de trabajo o con grandes computadoras. No obstante, es importante tener en mente que el desarrollo de las microcomputadoras es notable y que en un futuro próximo su capacidad será comparable a la de una estación de trabajo, de esta manera la evolución de SANDI a nuevos compiladores y sistemas operativos para estas plataformas es básico para mantener e incrementar su potencial de análisis.

Finalmente, deseamos expresar que SANDI se encuentra disponible, libre de costo, a la comunidad de especialistas dedicados a la percepción remota y el análisis digital de imágenes. Para mayores detalles comunicarse con el primer autor (J. L.).

REFERENCES

R. BERNSTEIN and D. G. FERNEYHOUGH (1975). **Digital Image Processing,** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol 41, pp. 1465-1476.

J. BRYANT (1990). **AMOEBA Clustering Revisited,** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, pp. 41-47.

DRAGON, **Image Processing System,** Goldin-Rudahl Systems Inc., Six University Drive, Suite 213, Amherst, MA 01002, U.S.A.

ERDAS, **Remote Sensing Software,** Erdas Inc., 2801 Buford Highway, Suite 300, Atlanta, GA 30329, U.S.A.

J. A. HARRINGTON, K. F. CARTIN and R. LONGEAY (1986). **The Digital Image Analysis System (DIAS): Microcomputer Software for Remote Sensing Education,** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 52, pp. 545-550.

T. S. HUANG (Editor) (1981). **Two - Dimensional Digital Signal Processing II,** Topics in Applied Physics, Vol 43, Springer - Verlag, Berlin.

IMAGE PRO, **Image Processing Software,** Media Cybernetics, 8484 Georgia Avenue, Silver Spring, MD 20910, U.S.A.

IPLIFB, **Transputer Image Processing Library,** National Engineering Laboratory, East Kilbridge, Glasgow, United Kingdom G75 0QU.

ITEX, **Image Applications Development,** Imaging Technology Inc., 600 West Cummings Park, Woburn, MA 01801, U.S.A.

M. S. LANDY, Y. COHEN and G. SPERLING (1984). **HIPS: A Unix-Based Image Processing System,** Computer Vision, Graphics, and Image Processing, Vol. 25, pp. 331-347.

J. LIRA, V. RIOS and E. CHAVEZ (1988). **Sistema de Procesamiento Digital de Imágenes y Reconocimiento de Patrones,** III Simposio Latinoamericano Sobre Sensores Remotos, México, pp. 214-219.

MIPS, **Maps and Image Processing System,** Microimages Inc., 201 North 8th Street, Suite 15, Lincoln, Nebraska 68508-1347, U.S.A.

T. PAVLIDIS (1982). **Algorithms for Graphics and Image Processing,** Computer Science Press, Rockville, MD.

PCI, **Remote Sensing Software,** PCI Inc., 50 West Wilmot St., Richmond Hill, Ontario L4B 1M5, Canada.

J. A. RICHARDS (1986). **Remote Sensing Digital Image Analysis,** Springer - Verlag, Berlin.

S. A. SADER and J. CH. WINNE (1991). **Digital Image Analysis Hardware/Software Use at U.S Forestry Schools,** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57, pp. 209-211.

R. A. SCHOWENGERDT and H. WANG (1989). **A General Purpose Expert System for Image Processing,** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 55, pp. 1277-1284.

J. SERRA (1982). **Image Analysis and Mathematical Morphology,** Academic Press., New York.

J. T. TOU and R. C. GONZALEZ (1974). **Pattern Recognition Principles,** Addison & Wesley, Reading, MS.

VISILOG, **Image Processing Software,** Noesis Vision Inc., 6800 Côte de Liesse, Suite 200, Ville Saint Laurent, Quebec H4T 2A1, Canada.

F. M. WAHL (1987). **Digital Image Signal Processing,** Artech House, Berlin.

S. W. WHARTON and B. J. TURNER (1981). **ICAP: An Interactive Cluster Analysis Procedure for Analyzing Remotely Sensed Data,** Remote Sensing of Environment, Vol. 11, pp. 279-293.

A SYSTEM FOR DIGITAL IMAGE ANALYSIS, V. 2.0

Jorge Lira and Rosario Landgrave

Instituto de Geofisica-UNAM - A. P. 22-560
14000 México D.F.

Abstract

Version 1.0 of the Digital Image Analysis System (SANDI), previously reported (Lira et al., 1989) has been redesigned and reedited. Actual version. 2.0 carry more than 70 modules operated by menus. All modules are written in TurboPascal 6.0 operating under MS DOS 5.0. One MB RAM and mathematical coprocessor are required besides a hard disk to store the digital images. The system, working on a PC-386 or 486 is divided in to main groups: Enhancements and Processings, and Pattern Recognition. A group of utilities to display and manipulate images is available in several locations of the package. The display window is tied to scroll by preprogrammed keys with several colour palletes including black and white. Images are displayed through commercial video boards and are stored in free MS DOS format related to control labels that include information about size image, history of processing and a comment by the user. Main applications are devoted to Remote Sensing.

INTRODUCTION

A high productivity rate in new methods for digital image processing and pattern recognition has been sustained in the past decade. Actual trends show no sign of decline, on the contrary more specialized journals and articles see the light at a reasonable pace. Hence, it appears that a broad is desirable to test newly designed models for digital image analysis. The environment should traduces into a general purpose modular system which be as portable as possible. The great development in the microcomputer field, combined with new high resolution commercial video boards, suggests that a PC-386 or 486 may be an adequate platform for such a system. The system should be easily upgradable since its main objective is to support research activities in digital image analysis. Each addition or updating of a module increases the power analysis of the system, bringing fringe benefits to the process as providing capabilities for rutinary and commercial applications. Imposing a PC based system restricts the use of certain operating systems and defines a number of languages to be employed. However, the progress in speed, memory development and operating systems for PC, predicts the availability of an ample environment for image processing in a forseeable future.

A variety of commercial packages is available (PCI, IPLIB, MIPS, ITEX, VISILOG, IMAGE-PRO, ERDAS, DRAGON)* ranging in prices from one thousand to several tens of thousands of dollars, and working under various platforms and environments. Some other packages are published in the literature with varied capabilities and environments of operation (Bernstein and Ferneyhough, 1975; Wharton and Turner, 1981; Landy et al., 1984; Harrington et al., 1986; Bryant, 1990; Sader and Winne, 1991) including algorithms for graphics and image processing (Pavlidis, 1982). Some of them are specialized towards a specific task (Wharton and Turner, 1981; Bryant, 1990), and others are oriented towards a specific field such as Remote Sensing (Bernstein and Ferneyhough, 1975; Harrington et al., 1986), an expert system (Schowengerdt and Wang, 1989), or for education (Sader and Winne, 1991).

We present here a general purpose modular system operated by means of menus, portable under MS DOS 5.0, easily expandable and fully written in TurboPascal 6.0. It is intended to support activities in research and development in the area of digital image analysis, eventhough it is employed in teching as well. The structure and operation of this system is described in the following two sections.

STRUCTURE OF SANDI

Before quantifying the properties of a pattern it is usually required to enhance it. A pattern or a class of patterns are not in general well differentiated with respect to the rest of the image. Noise, blurring, interpixel relationships or illumination inhomogeneities may obscure or hiden the presence of a pattern, rendering difficult its recognition. An enhancement or processing is in general required to put in evidence the pattern previous to any recognition procedure. This basic assumption drives the main structure (Fig. 1) of SANDI. Processings and Enhancements are classified according to the type of operation they employ, thus, Radiometric Enhancements stands for manipulations to the histogram. Geometric En-

* *This is not a full list nor an endorsment to those brands*

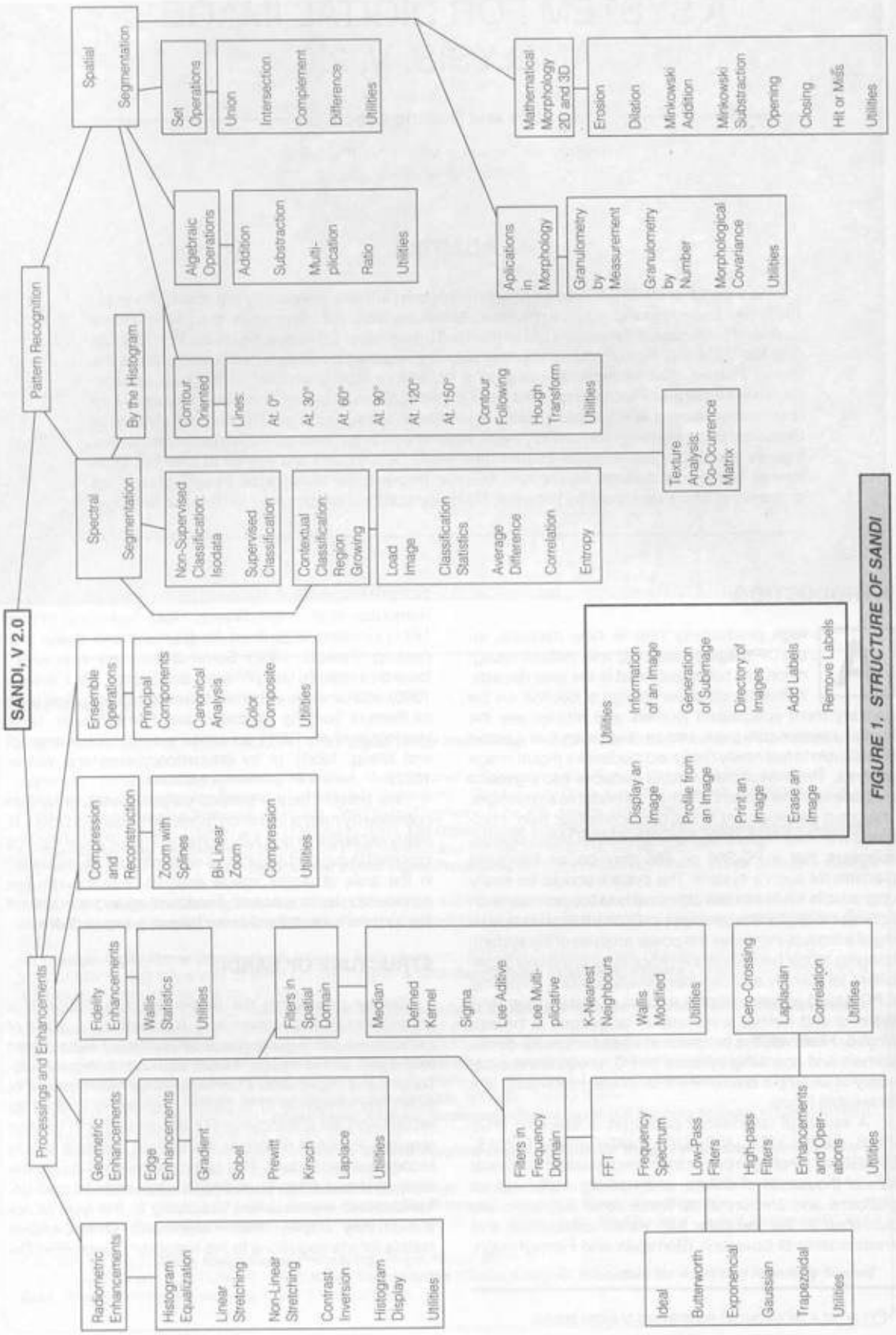


FIGURE 1. STRUCTURE OF SANDI

hancements are to put in evidence some geometric aspects of the image. Fidelity Enhancements are basically restorations to the image since they tend to approach, as much as possible, a degraded image to an ideal model. Reconstruction and Compression that utilizes zoom by splines, and reduction of the image by eliminating one to each other pixel. And Ensemble Operations to transform the image as whole. Each of these sections include a set of operations according to the diagram of SANDI (Fig. 1).

The section of Pattern Recognition is subdivided into Spectral and Spatial patterns, eventhough these sections are very much related. Segmentation of spectral patterns include a technique of density slicing employing the histogram, a non-supervised classifier utilizing the Isodata algorithm (Tou and (Gonzalez, 1974) and a bayesian classifier (Richards, 1986) using a maximum likelihood rule. A region growing algorithm (Wahl, 1987) is included with the following uniformity predicates: average difference, correlation and entropy based on co-occurrence matrix. A contextual classifier based on co-occurrence matrix and entropy criterion works for monospectral images and is specially suited for radar images analysis. On the side of spatial patterns, there is segmentation oriented towards lines detection, algebraic operations among bands, set operations for classified images, and mathematical morphology (Serra, 1982) on 2D and 3D with selected applications. A set of utilities to support the manipulations of images is included in selected places of the system.

Internally, SANDI is distributed in programs and units; the menus form a set apart of programs. Units group a number of procedures for specialized applications, some other units include procedures for files, menus, reports and display handling. Addition of new algorithms involves only the updating of a menu and the unit where the program (procedure) is to be included, recompilation therefore is restricted to this part of the system. Control of menus reports on errors, and about the progress of an operation is carried out by special purpose designed procedures that can easily be modified to accomodate new tasks.

Images are stored in free DOS format with block sizes equal to the number of columns in the image, labels are handled in separate files of 128 bytes blocks. Maximum images sizes are restricted to 1024 x 1024, basically due to DOS limitations. Fourier Transforam is limited to 2^n order images and region growing to 512 x 512 size. Spectral classification, both supervised and non-supervised operate for 7 bands and 10 classes maximum. Canonical analysis on the other hand works for up to 5 classes and 7 bands. A fast matrix transpose algorithm (Huang, 1981) is employed for FFT when the image is 1024x1024 size.

One byte per pixel is employed in every image with the exception of temporal ones where varying degree of precision may require two, four or eight bytes per pixel. Temporal files are automatically erased once an operation is ended. Control labels are annexed to label files (Fig. 2) employing one of the utilities. Labels include the size of the image: pixels per line and number of lines, number of processings received, a comment by the user of 80 characters maximum and a comment on the history of processing is added each time an operation is applied to the image where k is an integer. On the other hand, if m = number of history labels, then if m (mod 2)=0, we have that k = m (div 2) + 1, otherwise, k = m (div 2) + 2.

Images are identified by their name and the extension PDI, those with no labels carry the extension IMA. Label

Byte Nº	1	2	3	4
Low Byte # of Lines	High Byte # of Lines	Low Byte # of Pixels/Line	High Byte # of Pixels/Line	
Byte Nº	5 128	k•128	Image File	
# of History Labels	Users's Labels	History Labels	Image Data	

FIG. 2.- SCHEMATIC STRUCTURE OF A LABEL FILE TIED TO IMAGE FILE.

files have the same name and extension for the image they are associated to, but they reside in a differente subdirectory. Other extensions are used for the frequency Fourier Spectrum (AMP), real (TFR) and imaginary (TFI) parts of Fourier Transform. Various extensions are used for temporal files as well.

Other extensions are the following: ISO for non-supervised classified data, VER for supervised classified data, DIS for Isodata Statistics, and DVR for Bayesian Statistics. By means of another utility, labels may be removed (scratched) leaving only the information pertaining to the image, which in turn may be exported to some other system of analysis. The modules to display and manipulate images are contained in the Utilities set. Three display modes are available: MCGA with 320x200 pixels at 256 colors, VGA with 640x480 pixels at 16 colors and SVGA with 640x480 at 256 colors; this last mode is only valid for Paradise video board, however the algorithm is general enough to accomodate other boards. Several palettes, in gray and color tones are preprogrammed in the keys F2 - F6, the F1 key is reserved for on-line help. Other utilities include the profile of an image along any line or column, directorate of images, and a gray tones print of an image to a laserjet printer compatible with HP standard norm.

For an efficient management of memory, only those modules involved in a given transformation are loaded into RAM. The actual number of executable programs in SANDI is over 120 occupying more than 2 MB of memory, this includes transformations and support programs. Restrictions still prevailing on DOS concerning the addressing of RAM impose limitations on module sizes, number of files, size of windows for convolutions, and number of bands and classes in multispectral images and spectral classifications. On the other hand, use of DOS permits the portability of the system to a large number of PCs. Recent appearence of a Pascal compiler compatible with TurboPascal and running under OS/2 may be one of the posibilities of development for the near future, another alternative is to employ TurboPascal for Windows. This limitations are in fact a trade off to avoid excesive disk addressing and to enssure a reasonable processing time. For example for an image 1024x1024 size histogram manipulations may take several tens of seconds, but non-supervised classification with seven bands and ten classes may take several hours. Filters in spatial domain require several minutes, but in frequency domain up to several hours. Other transformations usually spend several minutes. These figures are for a 386/33 PC.

An integrated tutorial is accesible from each menu, going from general explanations to specific instructions about particular operation of a given transformation. Control messages and error reports are handled by specialized

procedures residing in support units. The specific installation (Fig. 3) is as follows: all executable programs reside in a directory named SANDI, drivers for display and printing are in the subdirectory DRIVERS, images are in the subdirectory IMAGES, statistics for classified data are in the subdirectory STATIST, label files are in the subdirectory LABELS, and temporal files are in the subdirectory TEMPO. Eventhough temporal files are automatically erased at the end of every procedure that require their use, the subdirectory TEMPO is useful when a process is interrupted for any reason, in this event, an error may be traced up or a temporal file may be scratched without any search task. The subdirectory HELP contains all the text material for on-line help which include a brief description of the operation to be undertaken and instructions to start a given task.

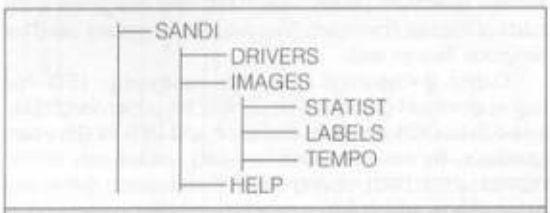


FIG. 3. - ARRANGEMENT OF SUBDIRECTORIES FOR INSTALLATION OF SANDI.

Copy of SANDI from diskettes to a hard disk is a straightforward operation, the subdirectories shown in figure 3 must be created in advance. At this time there is no program for automatic installation. Images are copied to the IMAGES subdirectory, and by means of one of the utilities, labels are created and annexed (related) to each image file, at this time any transformation may applied since labels are automatically read.

OPERATION OF SANDI

At the prompt C:\SANDI> of DOS the system is invoked by typing SANDI, this brings the main menu into display. By using the mouse, the number of selection, or the arrows of the keyboard and <Return>, the user may access one of the two branches depicted in figure 1. At each menu the key F1 brings a subwindow where a brief explanation about the transformations invoked by the user is displayed; instructions for each transformation are included. It is assumed however that the user has a general background on digital image processing and pattern recognition. This tutorial is intended as a guidance to the operation of the system.

By following the right path (Fig. 1) the user eventually arrives at an specific transformation, at this point several submenus are sequencially shown: the names of the input and output images, the value of parameters involved whose range of validity is written between parenthesis, and some other decisions to start the application. If the transformation is related to multispectral images, the number and name of the bands are requested. In those modules where dynamic interaction with the image is required, a graphic editor is included that enables the user to manipulate the mouse, the arrow keys and palettes. This is useful for classifiers and canonical analysis that need the definition of training fields. The tutorial includes details about the use of the graphic editor as well. The last option in a menu always indicates the previous one, with the exception of the main menu which returns the user to DOS, in this way the user may go forward or backward in the tree of options.

As soon as a transformation is started, a window with a report on the progress of the task appears, the name of the image, the step and type of process, and the line under analysis are given. The initial and final time are displayed at the end of every task. For principal components decomposition and canonical analysis, other reports are provided such as mean vector, covariance matrix, percentage of information in output bands and correlation matrix. For region growing and spectral classifiers, class statistics are provided, including the J-M distance (Richards, 1986) for supervised classification. In every case the system allows the user to print on hardcopy or store in a file the information of these reports.

The display of an image is done by typing its name, afterwards, a menu with three resolutions is brought: MCGA, VGA, SVGA; the selection of one of these immeditely put the image onto the monitor screen. If the image size exceeds the display window, scroll is then available by means of the arrow keys of the keyboard. A black and white palette is prestored in the F2 key, a Logarithmic gray tones in F3, an Arctangent in F4, a color palette is in F5, and for color composite images a palette is in F6; the original palette of the video board is read and stored in F7.

In every transformation, image labels are read and transmitted to the output label file of the image, the counter on the number of processings is increased by one, and the the respective history of processing label is added. All convolution operations are restricted to odd windows ranging in sizes from 3x3 to 11x11. About 600 kB of free RAM are needed to run any application from SANDI, but if for some reason RAM memory is low, all classifiers may be run separately from DOS. The reason for this is that classifiers are somewhat autonomous including display capabilities.

APLICATIONS

SANDI is a general purpose digital image analysis system applicable to any area of research where pattern recognition and image processing are required, with emphasis on Remote Sensing applications. Actually, SANDI is utilized to support a course on these topics that we regularly offer at master degree level in the area of computing sciences. The system is used as a basis for laboratory practices in a hands on experience for students. In research activities, SANDI has been succesfully employed in projects for texture analysis of SAR images, in multiespectral classification of satellite images for land use purposes, in segmentation of multiespectral images for lithologies identification, in segmentation of urban and suburban areas, in geohidrologic studies of closed basins, and in morphologic studies of particles utilizing electronic microscope images.

CONCLUSIONS

We have designed, developed and implemented a user friendly and menu driven package for digital image analysis. This system operates on a widely implemented operating system as DOS is, however, a more powerful environment is required to increase the capability of the package; OS/2 might be one alternative. For practical

purposes multiespectral seven bands images of 1024x1024 size represent the real limit for digital image analysis on actual PCs. Biger sizes or more bands would require a workstation. Since the idea is to have a portable system with minimum hardware requirements, a compromise must be made concerning the volume of data to be handled. This has implications for the type and scope of the projects that can be worked out by a system like the one we present here. Small and medium scale, and research projects are certainly feasible with this tool. The analysis of, let us say a whole frame of a LANDSAT TM image is not reasonable by a system running on a PC in the actual state of the art for these machines; the near future looks however very promising.

REFERENCES

R. BERNSTEIN and D. G. FERNEYHOUGH (1975). **Digital Image Processing,** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol 41, pp. 1465-1476.

J. BRYANT (1990). **AMOEBA Clustering Revisited,** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, pp. 41-47.

DRAGON, **Image Processing System,** Goldin-Rudahl Systems Inc., Six University Drive, Suite 213, Amherst, MA 01002, U.S.A.

ERDAS, **Remote Sensing Software,** Erdas Inc., 2801 Buford Highway, Suite 300, Atlanta, GA 30329, U.S.A.

J. A. HARRINGTON, K. F. CARTIN and R. LONGEAY (1986). **The Digital Image Analysis System (DIAS): Microcomputer Software for Remote Sensing Education,** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 52, pp. 545-550.

T. S. HUANG (Editor) (1981). **Two - Dimensional Digital Signal Processing II,** Topics in Applied Physics, Vol. 43, Springer - Verlag, Berlin.

IMAGE PRO, **Image Processing Software,** Media Cybernetics, 8484 Georgia Avenue, Silver Spring, MD 20910, U.S.A.

IPLIB, **Transputer Image Processing Library,** National Engineering Laboratory, East Kilbridge, Glasgow, United Kingdom G75 0QU.

ITEX, **Image Applications Development,** Imaging Technology Inc., 600 West Cummings Park, Woburn, MA 01801, U.S.A.

M. S. LANDY, Y. COHEN and G. SPERLING (1984). **HIPS: A Unix-Based Image Processing System,** Computer Vision, Graphics, and Image Processing, Vol. 25, pp. 331 - 347.

J. LIRA, V. RIOS and E. CHAVEZ (1988). **Sistema de Procesamiento Digital de Imágenes y Reconocimiento de Patrones,** III Simposio Latinoamericano Sobre Sensores Remotos, México, pp. 214-219.

MIPS, **Maps and Image Processing System,** Microimages Inc., 201 North 8th Street, Suite 15, Lincoln, Nebraska 68508-1347, U.S.A.

T. PAVLIDIS (1982). **Algorithms for Graphics and Image Processing,** Computer Science Press, Rockville, MD.

PCI, **Remote Sensing Software,** PCI Inc., 50 West Wilmot St., Richmond Hill, Ontario L4B 1M5, Canada.

J. A. RICHARDS (1986). **Remote Sensing Digital Image Analysis,** Springer - Verlag, Berlin.

S. A. SADER and J. CH. WINNE (1991). **Digital Image Analysis Hardware/Software Use at U.S. Forestry Schools,** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57, pp. 209-211.

R. A. SCHOWENGERDT and H. WANG (1989). **A General Purpose Expert System for Image Processing,** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 55, pp. 1277-1284.

J. SERRA (1982). **Image Analysis and Mathematical Morphology,** Academic Press, New York.

J. T. TOU and R. C. GONZALEZ (1974). **Pattern Recognition Principles,** Addison & Wesley, Reading, MS.

VISILOG, **Image Processing Software,** Noesis Vision Inc., 6800 Côte de Liesse, Suite 200, Ville Saint Laurent, Quebec H4T 2A1, Canada.

F. M. WAHL (1987). **Digital Image Signal Processing,** Artech House, Berlin.

S. W. WHARTON and B. J. TURNER (1981). **ICAP: An Interactive Cluster Analysis Procedure For Analyzing Remotely Sensed Data,** Remote Sensing of Environment, Vol. 11, pp. 279- 293.

TELEDETECCION DE LA ERUPCION DEL 19 DE ABRIL DE 1991 EN LA ISLA FERNANDINA

Hugo Pérez Oviedo

CLIRSEN. Ap. 8216. Quito-Ecuador

Introducción

El presente artículo describe la información vulcanológica obtenida en la Isla Fernandina, utilizando datos de sensores remotos, principalmente del satélite LANDSAT (Sensor Mapeador Temático), que fuera recibida, grabada y procesada por la Estación Cotopaxi del CLIRSEN en diferentes fechas.

Observaciones de campo, efectuadas en septiembre de 1989, y un estudio realizado con varias imágenes LANDSAT, una fotografía de cámara de formato largo y una imagen SPOT, permiten aumentar el conocimiento de la evolución volcánica reciente de la Isla Fernandina.

Trabajos previos, con datos de sensores remotos sobre esta isla, permitieron obtener mapas topográficos y cartografiar flujos de lava, fisuras y conos (Munro y Mouginis-Mark, 1990). Una separación de los flujos por su edad relativa no se pudo conseguir por falta de contraste espectral (Munro et al., 1991).

Este volcán, La Cumbre, es el más activo del Archipiélago de Colón, con 21 erupciones registradas desde 1813 (Simkin et al., 1981), 11 de las cuales corresponden a los últimos 33 años. Luego del colapso de caldera en mayo de 1968 (Simkin y Howard, 1970), las siete últimas erupciones se han efectuado a través de fracturas circunferenciales íntimamente relacionadas con la caldera. Con excepción de una, las erupciones son intra-caldera y, aparentemente, pertenecen a un período de relleno de la misma.

Este proceso de relleno parece ser repetitivo, como lo sugieren las intercalaciones horizontales de lavas y tefras que se ven en las paredes de las mesas NNO y SSE; expuestas luego del colapso de 1968.

EVOLUCION VOLCANICA ACTUAL

En 1972 y 1977 fueron erupcionados dos flujos de lava sobre la mesa SE de la caldera, y en 1973 ocurrió uno muy corto en la pared ESE vecina a la misma mesa (Fig. 1).

El flujo de lava de agosto de 1978 fue expulsado por una fisura circunferencial entre la pared y la mesa del norte de la caldera, cubriéndola parcialmente para descender en cascada hasta la base de la caldera. El flujo de lava de 1982 salió por varios ventos relacionados con dos fallas circunferenciales ubicadas en la planicie de la cima, en el borde sur de la caldera (Mouginis-Mark et al., 1990). La lava es del tipo pahoehoe que varía al tipo a-a al descender una corta pendiente. El flujo de lava intra-caldera de septiembre de 1988 estuvo acompañado por una corta expulsión de escoria, la misma que alcanzó la planicie de la cima (zona B en Fig. 1). Este flujo salió por una fisura localizada junto a la pared suroriental, descendiendo hasta la base de la caldera, que en ese entonces estaba parcialmente ocupada por un lago, que quedó reducido a una pequeña laguna luego de la erupción.

Observaciones de campo sobre la planicie de la cima, revelaron la presencia de varias fallas circunferenciales de corto desplazamiento normal, las mismas que son aprovechadas para las erupciones más jóvenes, como la de 1982. Estas fallas están íntimamente relacionadas con la evolución de la caldera y podrían explicar la morfología plana típica de las cimas de los volcanes de Galápagos. Estas fallas también pueden hospedar diques como indican Mc Birney y Williams (1969) y Nordlie (1973) en sus explicaciones sobre la morfología de las Islas Galápagos.

Continuos deslizamientos en la pared oriental de la caldera provocaron una migración de su borde desde 1984 (zona C en Fig. 1). Esto se pudo observar comparando una fotografía de cámara de formato largo, adquirida en octubre de 1984, y la imagen SPOT del 28 de junio de 1988. La zona B corresponde al colapso ocurrido durante la erupción de 1988 (Boletín SEAN, 1988).

ERUPCION DE ABRIL DE 1991

Después de ocurrida la erupción del 19 de abril, sólo el 16 de mayo de 1991 se pudo obtener una imagen de la caldera de la Isla Fernandina sin nubes (Foto 1).

Una composición a color de esta imagen, con las bandas 4, 5 y 7 (rojo, verde y azul, respectivamente), permitió observar dos aspectos importantes de la última erupción.

- Dos nuevos flujos de lava habían sido erupcionados dentro de la caldera. El principal había salido por el

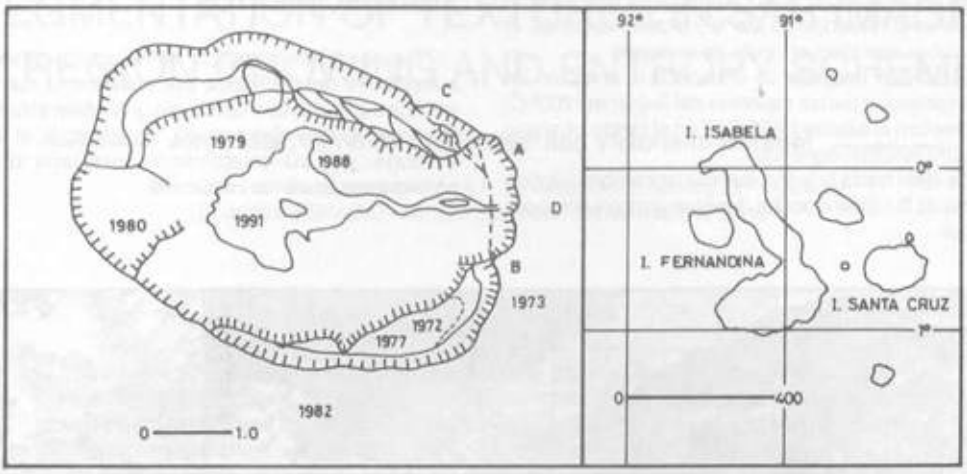


FIG. 1: MAPA ESQUEMATICO DE LA CALDERA DEL VOLCAN LA CUMBRE DE LA ISLA FERNANDINA
(Ver detalle de Imagen SPOT sobre Islas Galápagos en la Portada de esta Revista)

Bordes de las mesas (1968)
Colapso de 1988
Zonas de escorias
Flujos de lava de Abril / 1991
Laguna antes de 09 - 1988
Antiguos bordes de la Caldera
Flujos de lava

vento de 1982, a través de una fisura circunferencial de la pared oriental, a 950 metros al norte de la mesa ESE, en la zona donde en 1989 se notaron continuos derrumbes. Sus coordenadas son 91º 30' 40" LW y 0º 23' 24" LS. Luego descendió formando un canal de 2,13 km. de longitud hasta la base de la caldera, donde cubrió parcialmente el flujo de septiembre de 1988. De acuerdo al área ocupada por el flujo se puede dedudir que es de mayor volumen que los anteriormente citados (Fig. 1). El flujo más pequeño había salido por una fisura cincunferencial del norte, por donde ya escurrió una erupción en 1978, su longitud es de 850 mts.

Haciendo una comparación de la imagen del 16 de mayo de 1991 con las imágenes del 5 de enero de 1990 y del 13 de marzo de 1991 (Foto 2) todas con la composición a color citada, se puede observar claramente un cambio en la tonalidad y en la textura de la caldera (excepto en el área ocupada por el nuevo flujo). En la imagen del 16 de mayo, la tonalidad es más clara y la textura es más suave, indicando que la caldera fue cubierta por un manto de cenizas. Esta misma observación se tiene de la parte noroccidental de la cima y en los flancos occidentales del volcán, hacia donde se extendió la nube de cenizas. De acuerdo a reportes de dos testigos (Boletín GVN, 1991), la expulsión de cenizas acompañó intermitentemente a casi toda la erupción, notándose que en el Cabo Hammond se acumularon 5 - 10 mm. de cenizas.

Comparando las mismas imágenes, se puede notar también un oscurecimiento de una pequeña zona vecina al nuevo vento (A en Fig. 1). Si comparamos estas imágenes con las del 20 de marzo de 1985 o con las del 28 de junio de 1988 del satélite SPOT, se nota el mismo oscurecimiento en la zona cercana al sur del vento de septiembre de 1988 (D en Fig. 1). Esto se interpretó como una acumulación de escoria, confirmándose luego con el Boletín GVN (1991) que reporta la acumulación de un cm. en esta zona.

ESTIMACION DE TEMPERATURA

Al realizar la combinación a color de las bandas 4, 5 y 7 con colores azul, verde y rojo respectivamente, se pudo notar que varios pixeles localizados muy cerca del vento y en el canal de lava a aproximadamente 700 mts. del vento, aparecieron con color rojo. Dentro del flujo, estos pixeles poseen los valores más altos de intensidad (37) en la franja infrarroja, la misma que tiene una resolución de 30 mts.

Usando las técnicas termales de estimación de temperaturas a partir de datos satelitarios, que se basan en la aplicación de la Ley de Radiación de Planck (Francis y Rothery, 1987; Rothery et al., 1988; Glaze et al. 1989), y con las tablas de equivalencia entre números digitales y temperaturas para las bandas 4, 5, 6 y 7 de LANDSAT 5 elaboradas en el CLIRSEN (Pérez 1990), se establece una estimación de 196º C para estos pixeles. Es decir, que a 22 días de terminada la erupción, existían todavía zonas del flujo, de por lo menos 30 x 30 mts.2, con temperaturas promedio de casi 200º C.

CONCLUSIONES

La información satelitaria, recibida y procesada por la Estación Cotopaxi del CLIRSEN, ha permitido adquirir un conocimiento rápido y casi completo de la erupción del volcán La Cumbre de la Isla Fernandina, ocurrida entre el 19 y el 24 de abril de 1991.

Esta erupción se acompañó de fases explosivas que eyectaron una buena cantidad de cenizas, las mismas que cubrieron la caldera, la cima y los flancos occidentales. También expulsó escoria que alcanzó el borde de la

caldera en la cima junto al vento. Los flujos de lava salieron por fisuras circunferenciales de la caldera, llegando el mayor a cubrir casi todo el fondo de la misma.

Hasta 22 días después de terminada la erupción todavía se mantenían partes calientes del flujo (casi 200º C) detectables con el satélite LANDSAT en el rango infrarrojo del espectro electromagnético.

Desde 1984 hasta la fecha, se nota un cambio drástico en la forma de la caldera por los deslizamientos y colapsos localizados.

AGRADECIMIENTOS

Deseo dejar constancia de mi agradecimiento a las autoridades del CLIRSEN, por autorizar la realización y publicación del presente trabajo, y también al personal de Procesamiento y Producción, en especial al Ing. Lino Verduga, por su colaboración, prestada durante el procesamiento de las imágenes.

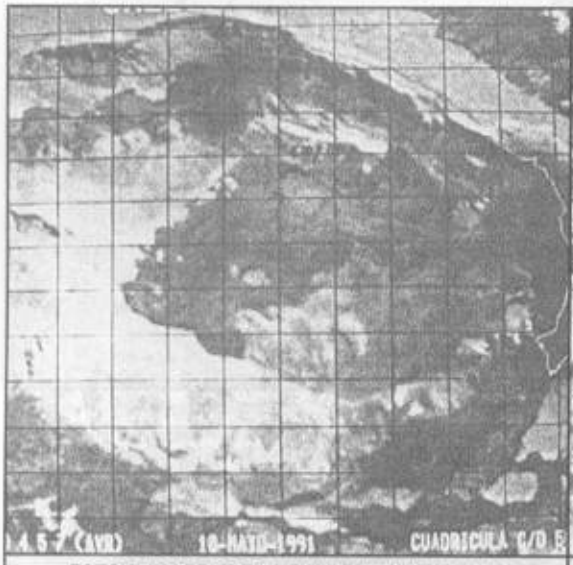


FOTO 1: IMAGEN DE LA CALDERA DEL VOLCAN LA CUMBRE - ISLA FERNANDINA

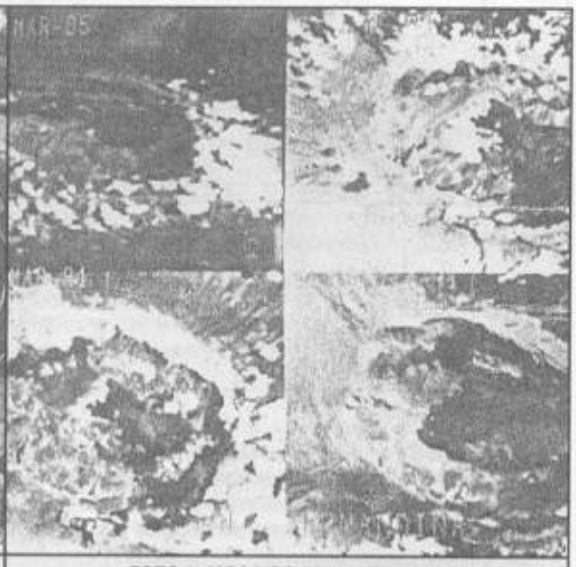


FOTO 2: MOSAICO DE LA CALDERA EN DIFERENTES FECHAS

REFERENCIAS

BOLETIN GVN (1991) - **Report on Fernandina Eruption.**, April.

BOLETIN SEAN (1988) - Vol. 13, Nº 8.

FRANCIS P. & ROTHERY D. (1987) - **Using the LANDSAT thematic mapper to detect and monitor activa volcanoes: An example from Lascar volcano, northern Chile.**, Geology, Vol. 15, pp. 614-617.

GLAZE L., FRANCIS P., SELF S. & ROTHERY D. (1989) - **The 16 september 1986 eruption of Lascar volcano, north Chile: satellite investigations.**, Bull. Volcanol., Vol., 51 pp. 149-160.

Mc BIRNEY A. & WILLIAMS H. (1969) - **Geology and petrology of the Galapagos Islands.**, Geol. Soc. Amer., Memoir 118-197 Pgs.

MOUGINIS-MARK P., LIONEL W., ROWLAND S., MUNRO D. & PEREZ H. (1990) - **The field expedition to Isla Fernandina., Report to the Charles Darwin Research Station, undertaken by the University of Hawaii** (Sept. 25th to Oct. 5th, 1989).

MUNRO D. & MOUGINIS-MARK P. (1990) - **Eruptive patterns and structure of Isla Fernandina, Galapagos Islands, from SPOT-1 HRV and large format camera images.**, Int. Jour. Remote Sensing, Vol. 11, Nº 8, pp. 1501-1509.

MUNRO D., ROWLAND S., MOUGINIS-MARK P., WILSON L. & PEREZ H. (1991) - **The investigation of the distribution of eruptive products on the shield volcanoes of the western Galapagos Islands using remotely sensed data., Eighth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing,** Denver, Colorado, April 29 - May 2.

NORDLIE B. (1973) - **Morphology and structure of the western Galapagos volcanoes and a model for their origin.**, Geological Society of America Bulletin, Vol. 84, pp. 2931-2956.

PEREZ H. (1990) - **Informe Anual del Proyecto Aplicación del Rango Infrarrojo Termal en Vulcanología.**, Informe Interno, CLIRSEN.

ROTHERY D., FRANCIS P. & WOOD C. (1988) - **Volcano monitoring using short wavelength infrared data from satellites.**, Journal of Geophysical Research, Vol. 93, Nº B7, pp. 7993-8008.

SIMKIN T. & HOWARD K. (1970) - **Caldera collapse in the Galapagos Islands,** 1968., Science, Vol. 169, pp. 429-437.

SIMKIN T., SIEBERT L., Mc CLELLAND L., BRIDGE D., NEWBALL C. & LATTER J. (1981) - **Volcanoes of the world.**, Smithsonian Instituc.

SEGMENTATION OF TEXTURES IN SAR IMAGES BY REGION GROWING AND ENTROPY SCHEMES*

Jorge Lira[1], Severino Fernandez[2] and Victoriano Moreno[2]

(1) Instituto de Geofisica-UNAM - A.P. 22-560; 14000 México D.F., México
(2) INISEL ESPACIO - Av. Burgos 8-bis; 28036 Madrid, España

Abstract

Synthetic Aperture Radar (SAR) images are in general monospectral providing a rich content of scene texture. Due to the coherent electromagnetic radiation employed in generating SAR images a grain–like speckle noise is superimposed on them that obscures the texture information.

In this research, a method to detect (segment) texture objects employing a region growing scheme with specific uniformity predicates designed for this task is presented. For an overall texture segmentation of the whole image, a hybrid approach is proposed. An entropy criterion, based on the co-occurrence matrix, is applied, creating a synthetic band which is incorporated with the original, into a two band multispectral set. A clustering analysis with an Isodata Algorithm is done over this set yielding a map of textures. An aerial and a satellite SAR images are used to exemplify the methodology developed in this work.

A discussion about speckle reduction is given as well providing details about its impact on texture segmentation. Speckle filtering is applied to both images before texture analysis is worked out.

1. INTRODUCTION

Synthetic Aperture Radar (SAR) images present nowadays a great potential of applications in many areas of research (Kolawole, 1991; Kwok et al., 1991; Marom and Shemer, 1991; Leberl, 1990; Wang and He, 1990). The information content of SAR images is complementary to that provided by optical sensors such as LANDSAT or SPOT. Being an active system, SAR is able to illuminate the target area under different look angles, various polarization schemes and selected wavelengths. The amplitude of the backscattered radiation depends basically upon the roughness and slope of the target, the incidence angle, the wavelength, and dielectric volumetric constant which in turn is a function of the physical properties of the target. SAR images show a great detail about the target surface, obscured only by an effect known as speckle.

SAR systems generate a wavetrain of coherent phased electromagnetic pulses that interact with the surface under study. The geometric characteristics of the wavetrain (Elachi, 1988) are such that, a resolution or unit cell is illuminated by the radiation and the intensity of the backscattered pulses determine the pixel value associated to that cell. However, in the cell there are a number of objects with random shapes and orientations that act as scatterers when their size is of the order of the wavelength of incident radiation. Those objects backscatter the incoming wavetrain in different directions and phases. As a result of this, an interference phenomen occurs that generates constructive and destructive interaction of radiation. The interference phenomenon is known as speckle coherence effect, similar in appereance in the image as the grain of a photographic emulsion. As a definition, speckle (Dewaele, Wambacq and Oosterlinck, 1989) is the result of constructive or destructive interference of coherent wavelets dephased between each other, backscattered from a surface whose roughness is comparable to the wavelenght of employed radiation. As such, speckle is dependent on the local texture of the scene being studied. In this paper a series of results to segment textures in SAR images, employing a region growing scheme for detection of specific texture objects, and an entropy measurement, based on the co-occurrence matrix, to generate a map of textures directly related to scene surface are presented.

2. REDUCTION OF SPECKLE NOISE IN SAR IMAGES

One way to physically reduce the speckle and random noise is by incoherent average of N–looks (N = 4 for SEASAT) of the same scene; this reduces however the azimuth resolution of the image as well. Incoherent averaging is the computation of the arithmetic mean of N-looks; this kind of average smear the image and reduces the details and requires several observations of the scene which are not always available.

The other alternative of speckle suppresion is by digital filtering the image, this demands some assumptions about speckle behaviour. For one-look intensity images, the density function of the speckle field is described by a negative exponential function. As N-look intensity images are con-

*Work supported by proyect IN100292 of DGAPA-UNAM and by INISEL ESPACIO.

sidered (Leberl, 1990) the density function is rather a Chi-Squared with 2N degrees of freedom, as N increases, this function approaches a normal distribution. Theoretically (Elachi, 1988), speckle noise for one-look images obeys a negative exponential and hence is multiplicative in the sense that its standard deviation is proportional to its mean (Lee, 1983). However, it has been argued (Frost and Yurovsky, 1985; Tur et al., 1982) that the multiplicative model is not always correct. On the other hand, speckle is not always considered as fully developed (Nezry, Lopes and Touzi, 1991), since for urban areas in high resolution images, few scatterers are included in the unit cell.

In particular, SEASAT and ERS-1 images are N-look average, and experimental results (Lee, 1981) show that the density function is a gaussian Experimental results (Dewaele, Wambacq and Oosterlinck, 1989) show as well that in SAR images, the pixels have a slight correlation with their closests neighbors and practically fades away for second or third neighbors; as a result of this, the speckle noise may be assumed to be white. Eventhough the speckle is theoretically very much correlated, in practice the near white noise assumption for SEASAT or ERS-1 images may be the result of N-look average. If the correlation becomes negligible a local mean and variance algorithm correction must be derived, and since speckle is directly related to local texture the algorithm must be adaptive.

For a non-correlated speckle with negative exponential density function a correction model was developed (Kuan, 1987) that lead to a so called maximum a posteriori (MAP) filter. Another model, based on experimental data (Li, 1988), follows a non-white gaussian distribution reasonably well to speckle histograms. Based on correlation results between neighboring pixels, a signal dependent correlated speckle model is adopted. The speckle size correlation, is in this model, approximately the size of the incoherent point spread function of the system.

The speckle models make, in one way or another, several simplifications (Leberl, 1990; Dewaele, Wambacq and Oosterlinck, 1989) that in practice do not work:

1.- The incoming electromagnetic wave is perfectly polarized.
2.- The incoming electromagnetic wave is perfectly monochromatic.
3.- The number of scatterers in a unit cell is necesarilly large.
4.- The number of scatterers in a unit cell is constant, instead it is a random variable.
5.- The phases associated to the scatterers do have a uniform density function.

This means that speckle model based filters do not perform quite well as they deviate from those facts. In addition to this, filters tend to blurr the edges of the image since they always introduce some kind of low pass filtering. The goal is to reduce the noise, preserving in most degree the edges, the borders and lines in the image. The type of filter for this, depends upon the density function or the geometric structure of the speckle; more details of this are given in the next section.

3. DIGITAL FILTERING OF SPECKLE

Begining with a simple approach, several adaptive filters were applied to two selected (Figs. 1 and 2) SAR images: both aerial and satellite. Assuming that in homogeneous regions the pixels population presents a uniformly random values distribution, and that in edge areas the pixel population belongs mostly to it, a restricted and weighted average over a window was applied, this was the case for the k-nearest neighbor and sigma filters. Having applied those filters for windows of 5 x 5, a point like noise remains, so a cascade with a median filter seems appropriate. The cascade combination Sigma + Median, for windows 5 x 5 and 3 x 3 respectively, yields reasonable good results, eventhough the edges are somewhat blurred.

In a second step and assuming that that speckle is an uncorrelated gaussian distributed density function and multiplicative type noise, leads to the application of Lee's multiplicative filter (Lee, 1981) with a 5 x 5 window and a noise variance $\sigma_v^2 = 0.28$, whose value is taken from experimental data, i.e. from the image itself. Results of this filter show a slight visual improvement with respect to the aforementioned cascade combination. With a signal dependent correlated speckle model a generalization of Lee's multiplicative filter is produced. In this generalization, the filter adapts to local conditions by taking non-stationary mean and variance of the image. The non-stationary mean describes the gross structure of the image, while variance provides first order edge and texture information. In this context and based on Wiener filtering (Lim, 1990) framework, a formula is derived that has the same form and structure of the original Lee's multiplicative but with variable variance noise $\sigma_v^2(i,j)$. This filter was applied to both images yielding the best visual results.

It is important to point out that the value for σ_v^2 comes from plots taken directly from the SAR images, it may not be the same for aerial or satellite images; each class requires its own estimation of σ_v^2. Noise speckle is in general of the order of magnitude of fine details, so increasing σ_v^2 increments the degree of filtering but smears fine details as well. Similarly, the density function associated to the speckle field is directly related to the number of looks.

In a third a final step, speckle reduction can be carried out as well by means of a geometric filter based upon the Hit or Miss (Pratt, 1991) morphological operation. Several basic assumptions are made for this filter. First of all, the speckle noise pattern is thought to be formed of spikes of no more than 3 pixels wide. This is in agreement to the fact that the autocorrelation function for speckle fades out very rapidly for second or farther away neighbors. Obviously, details of 3 or less pixels will be wiped out. Secondly, the image field is supposed to be stationary. And thirdly, the noise and the image are uncorrelated since the speckle is independently generated for each pixel. The Hit or Miss transformation is defined (Pratt, 1991) as follows: A binary valued pattern mask is constructed over a given window. As the window slides over the image, the logical state (0 or 1) of the image pixel in correspondence to the center of the window is changed whenever the pattern mask matches the pixel values in the image. For the morphological filter the following eight masks are considered

```
1                   1  1 1  1 1 1  1 1 1   1 1
1 0   1 0     0 1   0 1  1 0  1 0      0 1   0 1
1 1   1 1 1   1 1 1  1 1  1                     1
```

The geometric filter algorithm works as follows: four directions are defined, horizontal, vertical and two main diagonals, along each one a gray value profile is considered as a binary image: the area under the profile, defined as the umbral, is taken as ones, the rest as zeros. To this

binary image, the Hit or Miss transformation is applied employing the masks above defined, then the complement of the result is obtained and the masks are applied again. Note that only a certain pattern of pixels is explicitly given for each mask, whenever this pattern is encountered in the umbral, the Hit or Miss transformation is applied regardless of the value of the rest of the pixels. Such procedure is executed to every profile for each direction and this is taken as one iteration of the algorithm. Several iterations are required to eliminate the speckle, and a quantitative criterion is provided to determine the end of the algorithm, eventhough the procedure is convergent. On the other hand, this particular Hit or Miss transformation may be viewed as an specific case of erosion and dilation (Pratt, 1991) that wipes out the spikes of the umbral and hence reduces the speckle. This filter provides the best visual results (Figs. 3 and 4), so it was selected as the previous step to texture segmentation.

Let us assume now that a certain homogeneous area in the image contains only one object. For this area a certain mean μ and standard deviation σ are associated. As the speckle is reduced in each iteration, a lower value of σ may be expected, so the ratio $\alpha = \sigma/\mu$ is a first degree indicator of the smoothness of the object area: it is zero for a flat area and takes a certain maximum value for an unfiltered case. For each iteration the speckle index α is evaluated, when its change value for succesive iterations is less than some predefined threshold, $\Delta\alpha \leq \varepsilon$ the algorithm is terminated. The speckle index may be defined as well as an average of ratios σ/μ for non-overlapping windows covering the image. It appears that α estimated from a homogeneous area provides the best measurement for the degree of speckle reduction, eventhough it requires a manual iteration at the begining of the algorithm. Let us point out finally that the concept of umbral is only for ilustration purposes, in practice the algorithm works directly with image pixel values along the four mentioned directions.

4 - SEGMENTATION BY REGION GROWING

Speckle reduction in the present context is in fact a preprocessing step towards segmentation of the image into comprehensive non-overlapping regions. Speckle noise difficult the classification of image pixels in meaningful categories, hence its modelling and filtering. It is worth to mention that as edge preserving filtering is applied to the image the noise is reduced and the histogram transform, in general, from unimodal to multimodal preparing the image to better segmentation. Segmentation of an image is the grouping of pixels into connected and non-overlapping regions that may possess a meaningful correspondence to objects in the scene. The grouping is carried out based on spectral and spatial properties of pixels. The output regions may not have a direct or evident relation to scene objects represented in the image. Segmentation is in any case a necesary step towards image understanding and pattern recognition.

Region growing (Besl, 1988) is one of the methods for image segmentation. Many radar images are monochromatic so they are suited for region growing techniques; a formal definition now follows: Given an image f and a logical uniformity predicate $E[\bullet]$, find a partition or segmentation S of the image in terms of a set of regions R_i. Let N_r be the number of regions in the segmentation. Then the segmentation conditions for the set S is established as

1.- $\bigcup_{i=1}^{N_r} R_i = f$, where $R_i \subseteq f, \forall i.$ (1)

2.- $R_i \cap R_j = \emptyset, \forall i \neq j.$ (2)

3.- R_i is a 4-connected set of pixels. (3)

4.- $E[R_i]$ = True, $\forall$ i. (4)

5.- $E[R_i \cup R_j]$=False, $\forall i \neq j.$ (5)

The result of the segmentation is the set S given by

$$S = \bigcup_{i=1}^{N_r} R_i \quad (6)$$

The key aspect in this region growing scheme is evidently the specific definition of the uniformity predicate $E[\bullet]$ and some constrains imposed on the process. The first restriction is to require that R_i is composed of a minimum number of pixels in order to avoid the trivial satisfaction of predicate (4). Other restrictions may include a certain shape or maximum size for R_i. The growing of a region may stop as well when some edge level is encountered. Evidently the more restrictions, the higher the computational cost. For constrained low-level (Besl, 1988) digital analysis systems, segmentation can be achieved quickly and accurate, but for less constrained environments, high level semantic knowledge about a scene is usually required in order to obtain a precise segmentation with meaningful image regions.

Three criteria were adopted for uniformity predicate $E[\bullet]$

1.- **Tone Difference** - The difference value between a window centered pixel and the average of its neighbors is evaluated, if the result does not exceed a predefined threshold, the center pixel is agregated to the region.

2.- **Correlation -** The difference value between a window centered pixel and the normalized correlation between the original and the actual windows is evaluated, if the result does not exceed a predefined threshold, the center pixel is agregated to the region.

3.- **Entropy -** The difference entropy value between the original and the actual windows is evaluated, if the result does not exceed a predefined threshold, the center pixel is agregated to the region.

In brief, acceptance of a pixel to a region R_i depends on the closeness of its value to a given uniformity criterion. In any case, the growing commences by seeding a pixel in a homogeneous area and stops until the uniformity predicate is no longer satisfied. The algorithm works for variable windows and predefined thresholds. It is worth to mention that SANDI (Lira and Landgrave, 1992) was used as a based environment to install and test the methods developed in this work.

In the present stage of development, the region growing procedure begins when a very typical pixel of a given type object or region is seeded in the image. The position of seed pixels are not crucial as long as the threshold factor is adjusted according to the mean and standard deviation of the seeded window neighborhood. As the window size is increased coarser textures may be taken into account but at the expense of reduced certainty as to the position and definition of the classes. Increased certainty of class membership is at the expense of spatial accuracy. Classification uncertainty is still to be worked out.

Three aspects are critical in region growing: the seeding of a pixel, the size of the window and the threshold. The

first one is done interactively by selecting a representative pixel of the class texture to be segmented. Centered on each seeded pixel a 1 x 1 size window is considered for which σ^i_l/μ^i_l is a first approximation of dispersion pixel values. Only odd windows are employed so l = 2a + 1, where a is natural number. The parameters σ^i_l and μ^i_l are the standard deviation and the mean of the window pixel population. The location of a seeded pixel is not critical as long as the threshold is adjusted according to the following

$$\varepsilon^i_{td} = k_{td}\frac{\sigma^i_l}{\mu^i_l}, \text{ for class i.} \qquad (7)$$

where k_{td} is a constant that normalizes the threshold in a range between 0 and 1. In other words, for a given window, if a region growing is launched from two different pixels belonging to the same tone class (Tone Difference), a basic equivalent segmentation is obtained provided the threshold is ajusted to local window conditions according to (6).

The range for the threshold is between 0 and 1, a zero value leads to the trivial case of an empty class, the one value yields the entire image; a best estimation for this threshold will be discussed later. As a first instance a best derivation for window size is presented for three uniformity predicates employed in this work. Let us construct a frequency distribution pixel values (Gong and Howarth, 1992) for each initial window class of seeded pixels. Let $h^i_l(v)$ be a distribution for class i and window size 1 x 1, where v is a pixel value and the function $h^i_l(v)$ itself is its frequency of occurrence. A distance between a pair (i,j) of classes may now be defined

$$d^l(i,j) = \frac{1}{N_g - 1}\sum_{v=0}^{N_g-1}\frac{\left|h^i_l(v) - h^j_l(v)\right|}{\sigma^i_l(v) + \sigma^j_l(v)} \qquad (8)$$

where N_g is the highest possible pixel value, in the present case N_g = 255. The average distance for all pairs of classes is then

$$\bar{d} = \frac{1}{N_c(N_c-1)}\sum_{i=1}^{N_c-1}\sum_{j=1}^{N_c} d^l(i,j) \qquad (9)$$

where N_c is the number of classes. For the Tone Difference uniformity predicate, the best window size l is given for $\bar{d}$ maximum.

The Correlation and Entropy uniformity predicates, specially suited for texture analysis, deserve a somewhat different approach. If (k,l) and (m,n) are the coordinates of seeded pixels for classes i and j respectively, the correlation between window classes Z_i and Z_j is

$$C^l(i,j) = \frac{1}{N_g(2a+1)^2}\sum_{d_2=-a}^{a}\sum_{d_1=-a}^{a} Z_i(k-d_1,l-d_2)\, Z_j(m+d_1,n+d_2) \qquad (10)$$

The average correlation for all pairs of classes is then

$$\bar{C} = \frac{1}{N_c(N_c-1)}\sum_{i=1}^{N_c-1}\sum_{j=1}^{N_c} C^l(i,j) \qquad (11)$$

The best window size is the one that generates the minimum $\bar{C}$.

The Entropy for a given window class is

$$E^i_l = -\sum_r\sum_s c^i_{rs}\,\mathrm{Log}\,c^i_{rs} \qquad (12)$$

where c_{rs} are the elements of the co-occurrence matrix averaged over the eight possible directions; a detailed account of this formula is given in the next section. To follow the same rationale as above it is required to establish an entropy value for a pair of window classes. The co-occurrence matrix is generated on the normalized number of pixel pairs that appear in a given direction. For two classes let construct a co-occurrence matrix based on pairs that occur pixel by pixel on the two windows. For two identical classes, this co-occurrence matrix would have only one non-zero element equal to one, the joint entropy E^i_l would be zero; for different classes a certain value would be obtained reaching a maximum when the classes are totally different. Therefore, the average value

$$\bar{E} = \frac{1}{N_c(N_c-1)}\sum_{i=1}^{N_c-1}\sum_{j=1}^{N_c} E^l(i,j) \qquad (13)$$

is maximum for the best window size.

An initial estime of the threshold comes from each uniformity predicate and from local conditions of seeded pixels windows, therefore for a certain class window with center coordinates (k,l), the correlation threshold is

$$\varepsilon^i_c = k_c\sum_{d_1}\sum_{d_2} Z_i(k+d_1,l+d_2)\,Z_i(k-d_1,l-d_2) \qquad (14)$$

and for Entropy is

$$\varepsilon^i_e = -k_e\sum_r\sum_s c^i_{rs}\,\mathrm{Log}\,c^i_{rs} \qquad (15)$$

The threshold for Tone Difference is already given in equation (6). The constants k_c and k_e are for normalization purposes as discussed above. The best threshold is derived after examinig the Jefries-Matusita matrix for all distances among classes. The generation of a texture map requires a global categorization of textures for the whole image, this was done in two steps: an entropy evaluation, and a clustering analysis over a hybrid multispectral image composed of two bands: the original image and the output of the entropy analysis.

5. TEXTURE SEGMENTATION OF ENTIRE IMAGE

A standalone texture segmentation was developed by means of the entropy criterion (Haralick, 1979) based on the co-occurrence matrix (Gonzalez and Wintz, 1987) concept, in combination with clustering analysis. The co-occurrence matrix is constructed as follows: Let β be a vector position operator, let k be the number of allowable pixel values in the image, and let μ_β be a k x k matrix whose (p,q) element is the number of times that a pixel having a value λ_p occurs in a position given by β relative to a pixel having a value λ_q. The operator β is defined here for the eight directions given by the Freeman Code. Since the correlation between pixels falls off rapidly as they become

apart, the length of β need not to be greater than the distance for closests neighbors. Thus, for a given pixel, the 8-connected neighbors usually contribute the most to the μ_β matrix. Note that the dimension of μ_β is determined by the maximum pixel value regardless of image size. In the present implementation, a sliding window of variable size (3 x 3, 5 x 5, . . . 11 x 11) may be employed to calculate the μ_β matrix associated to each pixel neighborhood. The element m_{pq} of μ_β stores the number of times that a pair of values (λ_p, λ_q) occur in relative position given by β; once μ_β is calculated, each element m_{pq} is divided by the total number of pairs, the result is a new matrix C named the co-occurrence matrix, that characterizes in good approximation the joint probability that a pair of pixels satisfying β have values (λ_p, λ_q). In other words the matrix C is an approximation to the joint density function. There is axial symmetry in the eight directions chosen, so C is a symmetric matrix. This matrix is in fact the bidimensional histogram when the window equals the image size.

To characterize the content of the co-occurrence matrix, the entropy criterion was utilized

$$\text{Entropy} = -\sum_{p=1}^{k} \sum_{q=1}^{k} c_{pq} \text{Log} c_{pq}$$

where c_{pq} are the elements of matrix C. This expression is based on thermodynamics laws and provides a measurement of order and probability of a closed system in the following way

Higher Entropy - Less Order - Higher Probability of Occurrence.
Lower Entropy - More Order - Lower Probability of Occurrence.

The joint density function c_{pq} is always less than or equal to one. When pixel values in the sliding window are all equal, one of the $c_{pq} = 1$, and the rest are zero, thus the Entropy = 0: its lowest possible value. If the pixel values are all different, then $c_{pq} < 1$ and Entropy > 0, with a certain maximum value. Therefore for a smooth texture (high order) area in the image, a low pixel value zone (dark tone) correspond in the texture image. A coarser texture traduces into clear tones, this implies that a texture segmentation map is posible by clustering the tones (pixel values) of the texture image. This was done by means of the following hypothesis: the original image contains the spectral (tone) information of the scene, and the texture image carries the spatial information, therefore a combination of these two images into a two band multispectral image should provide the texture analysis of the scene. The analysis was carried out with an Isodata clustering algorithm.

6. RESULTS

Two SAR images of 512 x 512 pixels, with a resolution of 25 m were used to test the methods developed in this work. One is a subregion of a SEASAT image known as the Obayos anticline, located in northern México, the other one is an aerial image of northern Holland. It was confirmed experimentally that the speckle density function for the SEASAT image is gaussian, and Rayleigh for the aerial one. To both images a series of filters were applied (section 3) with the above discussed results. Eventhough Lee's Multiplicative blurres somewhat the edges of the image, it performs as good as Geometric filter as long as region growing is concerned. For entropy texture classification purposes is better to use the geometric filter in advance.

Two types of region growing procedures were applied to both images. For the SEASAT image, two texture classes were clearly distinguished using the normalized correlation criterion and a 5 x 5 window, such classes presumably correspond to two different lithologic units, more work in this direction is required. For the aerial image (Fig. 5) a city and a cultivated field are clearly separated employing the same criterion and same window. Some tests with the entropy criterion were also performed and a window of 5 x 5 seems to provide a more detailed segmentation for texture eventhough the computational cost is higher. All test were applied after one iteration of the geometric filter.

A separate classification by means of co-occurrence matrix and entropy criterion was worked out for the whole SEASAT images. A subsequent clustering operation with 4 clusters indicates a clear categorization (Fig. 6) of textures. The bands employed in this clustering were the filtered image by geometric filter with one iteration (α= 10%) and the one resulting from entropy measurement. A comparison was done with a clustering (Fig. 7) utilizing the original image with no filtering and the one resulting from entropy measurement. In both cases the covariance matrix and the Jeffries-Matusita distance (Tables 1 and 2) were evaluated. A visual inspection (Figs. 6 and 7) and a comparison of these matrices show a clear improvement of clasification when the filtered image is included in the clustering analysis.

7. CONCLUSIONS

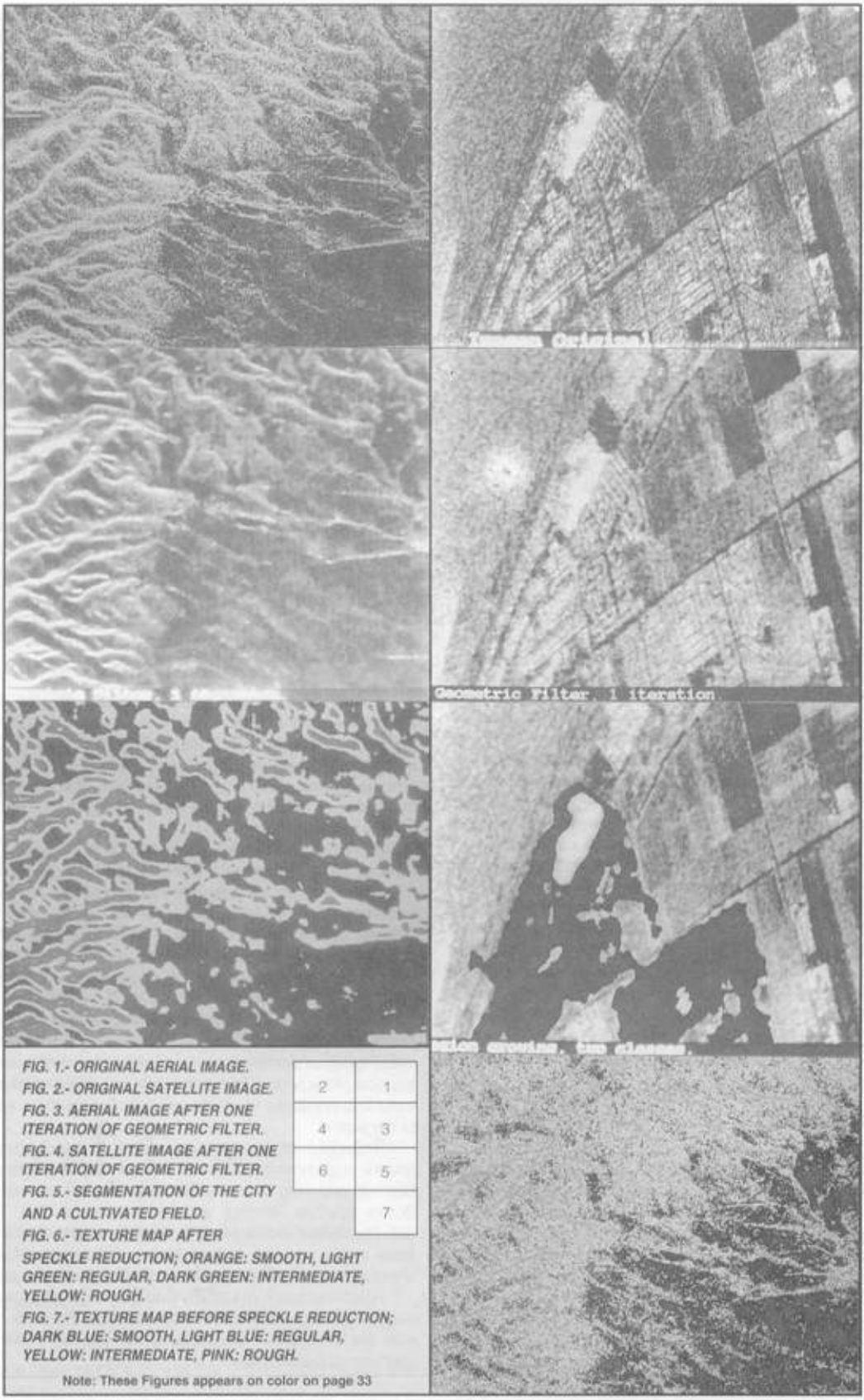
A method to detect specific texture objects or to generate an overall texture segmentation on SAR images is presented. A rationale for speckle reduction and its impact on texture analysis is given as well. Results are presented employing and aerial and a satellite SAR images, but the method is applicable to any range image generated by means of coherent radiation.

In comparison to previous works (Conners, Trivedi and Harlow, 1984; Peddle and Franklin, 1991; He and Wang, 1990), the entropy calculations here are based on the co-occurrence matrix averaged over the eight directions defined by the Freeman Code. This reduces the texture dependence on possible variations of luminance conditions or other monotonical shift of pixel values over the image.

Detection of texture objects utilizing the region growing procedure may be seen as a previous step to evaluate morphological and topological characteristics of selected aspects of the scene. These data may in turn be used as an input to a database for management of resources related to the scene.

Reduction of speckle has a clear consequence on texture segmentation: there is a visual improvement after filtering, resulting in a smooth map (Fig. 6) of textures. Before speckle filtering, a fragmentation of (Fig. 7) of texture classes is observed. In addition to this, the covariance matrix and the Jeffries-Matusita distance show an improvement in compactness and separation of classes.

A generalization of entropy evaluation to multiespectral images could provide a contextual-spectral classifier however the calculations would be quite involved yielding a high computational cost.



2	1
4	3
6	5
	7

FIG. 1.- ORIGINAL AERIAL IMAGE.

FIG. 2.- ORIGINAL SATELLITE IMAGE.

FIG. 3. AERIAL IMAGE AFTER ONE ITERATION OF GEOMETRIC FILTER.

FIG. 4. SATELLITE IMAGE AFTER ONE ITERATION OF GEOMETRIC FILTER.

FIG. 5.- SEGMENTATION OF THE CITY AND A CULTIVATED FIELD.

FIG. 6.- TEXTURE MAP AFTER SPECKLE REDUCTION; ORANGE: SMOOTH, LIGHT GREEN: REGULAR, DARK GREEN: INTERMEDIATE, YELLOW: ROUGH.

FIG. 7.- TEXTURE MAP BEFORE SPECKLE REDUCTION; DARK BLUE: SMOOTH, LIGHT BLUE: REGULAR, YELLOW: INTERMEDIATE, PINK: ROUGH.

Note: These Figures appears on color on page 33

TABLE 1.- COVARIANCE MATRIX AND JEFFRIES - MATUSITA DISTANCE BEFORE SPECKLE REDUCTION.

Class Texture	Covariance Matrix	
Smooth (1)	100.25	327.55
	327.55	1515.32
Regular (2)	1218.22	2009.24
	2009.24	3636.45
Intermediate (3)	258.04	-27.33
	-27.33	692.15
Rough (4)	247.10	-155.48
	-155.48	786.23

Jeffries - Matusita Distance

	1	2	3	4
1	0.000	0.779	2.000	2.000
2	0.779	0.000	1.989	1.999
3	2.000	1.989	0.000	1.563
4	2.000	1.999	1.563	0.000

TABLE 2.- COVARIANCE MATRIX AND JEFFRIES - MATUSITA DISTANCE AFTER SPECKLE REDUCTION.

Class Texture	Covariance Matrix	
Smooth (1)	17.89	48.22
	48.22	140.75
Regular (2)	115.90	444.27
	444.27	1880.23
Intermediate (3)	498.53	252.25
	252.25	478.64
Rough (4)	1752.33	-1254.33
	-11254.33	1542.13

Jeffries - Matusita Distance

	1	2	3	4
1	0.000	1.015	2.000	2.000
2	1.015	0.000	1.918	2.000
3	2.000	1.918	0.000	1.975
4	2.000	2.000	1.975	0.000

REFERENCES

P. J. BESL (1988). **Surfaces in Range Image Understanding,** Springer Verlag.

R. W. CONNERS, M. M. TRIVEDI and CH. A. HARLOW (1984). **Segmentation of High-Resolution Urban Scene Using Texture Operators, Computer Vision,** Graphics, and Image Processing, Vol. 25, pp. 273-310.

P. DEWAEL, P. WAMBACQ and A. OOSTERLINCK (1989). **Speckle Reduction Techniques for SAR Images,** Technical Report, ESA/ESTEC, Nº 8072/88/NL/PP(SC).

CH. ELACHI (1988). **Spaceborne Radar Remote Sensing: Applications and Techniques,** IEEE Press .

P. GONG and P. J. HOWARTH (1992). **Frequency-Based Contextual Classification and Gray-Level Vector Reduction for Land-Use Identification,** Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 58, pp. 423-437.

R. C. GONZALEZ and P. WINTZ (1987). **Digital Image Processing,** Addison & Wesley.

R. M. HARALICK (1979). **Statistical and Structural Approaches to Texture,** Proceedings of the IEEE, Vol. 67, pp. 786-804.

D. C. HE and L. WANG (1990). **Recognition of Lithological Units in Airborne SAR Images Using New Texture Features,** International Journal of Remote Sensing, Vol. 11, pp. 2337-2344.

M. KOLAWALE (1991). **A Sparse Canopy Forest Backscatter Model,** Proceedings IGARSS'91, Vol. I, pp. 5-9, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, June 3-6.

D. KUAN et al., (1987). **Adaptive Restoration of Images With Speckle,** IEEE Transactions on Acoustic, Speach and Signal Processing, Vol. AES-11, No. 3.

R. KWOK, M. DRINKWATER, A. PANG and E. RIGNOT (1991). **Characterization and Classification of Sea Ice in Polarimetric SAR Data,** Proceedings IGARSS'91, Vol. I, pp. 81-84, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, June 3-6.

F. W. LEBERL (1990). **Radargrammetric Image Processing,** Artech House, Inc.

J. LEE (1981). **Speckle Analysis and Smoothing of Synthetic Aperture Radar Images,** Computer Graphics and Image Processing, Vol. 17, pp. 24-32.

J. LEE (1983). **A Simple Speckle Smoothing Algorithm for Synthetic Aperture Radar Images,** IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC-13, pp. 85-89.

C. LI (1988). **Two Adaptive Filters for Speckle Reduction in SAR Images by Using the Variance Ratio,** International Journal of Remote Sensing, Vol. 9, No. 4.

J. S. LIM (1990). **Two-Dimensional Signal and Image Processing,** Prentice Hall

J. LIRA and R. LANDGRAVE (1992). **SANDI: A System for Digital Image Analysis,** Version 2.0, Technical Report, Institute of Geophysics-UNAM, Mexico.

M. MAROM and L. SHEMER (1991). **Estimation of Ocean Wave Energy Density Spectra Using Interferometric SAR,** Proceedings IGARS5'91, Vol. II, pp. 453-458, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, June 3-6.

E. NEZRY, A. LOPES and R. TOUZI (1991). **Detection of Structural and Textural Features for SAR Images Filtering,** Proceedings IGARSS'91, Vol. IV, pp. 2169-2172, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, June 3-6.

D. P. PEDDLE and S. E. FRANKLIN (1991). **Image Texture Processing and Data Integration for Surface Pattern Discrimination,** Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 57, pp. 413-420.

W. K. PRATT (1991). **Digital Image Processing,** Wiley Interscience.

M. TUR et al. (1982). **When Speckle Noise is Multiplicative,** Applied Optics, Vol. 21, No. 7.

L. WANG and D. C. He (1990). **Recognition of Lithological Units in Airborne SAR Images Using New Texture Features,** Proceedings IGARSS'90, Vol. I, pp. 991-994, College Park, MD, May 20-24.

ANALISIS DE TEXTURAS EN IMAGENES SAR*

Jorge Lira[1], Severino Fernández[2] y Victoriano Moreno[2]

(1) Instituto de Geofisica-UNAM - A.P. 22-560; 14000 México D.F., México
(2) INISEL ESPACIO - Av. Burgos 8-bis; 28036 Madrid, España

Resumen

Las imágenes de radar de apertura sintética son en general monoespectrales proporcionando un rico contenido de texturas de la escena. Debido a la radiación electromagnética coherente empleada en la generación de imágenes SAR, un ruido coherente ("speckle") se sobreimpone a ellas oscureciendo la información textural.

En la presente investigación, se presenta un método para detectar (segmentar) objetos texturales empleando un esquema de crecimiento de regiones con predicados de uniformidad específicamente diseñados para esta tarea. Para una segmentación global de texturas de toda la imagen, se propone un método híbrido: se aplica un criterio de entropía, basado en la matriz de co-ocurrencia, creando una banda sintética que es incorporada a la original, en un conjunto multiespectral de dos bandas. Se realiza un análisis de cúmulos con un Algoritmo de Isodata sobre este conjunto generando un mapa de texturas. Una imagen SAR aerotransportada y una de satélite son utilizadas para ejemplificar la metodología desarrollada en este trabajo.

Se proporciona una discusión sobre la reduccion del "speckle" y se proporcionan detalles sobre su impacto en la segmentación. El filtraje al "speckle" se aplica a las imágenes tanto antes como después del análisis de texturas.

1. INTRODUCCION

Las imágenes de radar de apertura sintética (SAR) presentan en estos días un gran potencial de aplicaciones en muchas áreas de la investigación (Kolawole, 1991; Kwok et al., 1991; Marom y Shemer, 1991; Leberl, 1990; Wang y He, 1990). El contenido de información de las imágenes SAR es complementario al proporcionado por los sensores ópticos como LANDSAT y SPOT. Siendo un sistema activo, el SAR es capaz de iluminar el área del blanco bajo diferentes ángulos de vista, varios esquemas de polarización y longitudes de onda selectas. La amplitud de la radiación retrodispersada depende básicamente de la rugosidad y pendiente del blanco, del ángulo incidente, de la longitud de onda y de la constante volumétrica dieléctrica la que, a su vez, es función de las propiedades físicas del blanco. Las imágenes SAR muestran un gran detalle acerca de la superficie del blanco, oscurecido únicamente por el efecto conocido como "speckle".

Las imágenes SAR generan un tren de ondas de pulsos electromagnéticos coherentes y en fases que interaccionan con la superficie bajo estudio. Las características geométricas del tren de ondas (Elachi, 1988) son tales que, una celdilla unitaria o de resolución es iluminada por la radiación y la intensidad del pulso retrodispersado determina el valor del pixel asociado a la celdilla. No obstante, en la celdilla existe un cierto número de objetos con formas y orientaciones aleatorias que actúan como dispersores cuando su tamaño es del mismo orden de magnitud de la longitud de onda del tren de ondas incidente. Estos objetos retrodispersan el tren de ondas incidente en diferentes direcciones y fases. Como un resultado de esto, ocurre un fenómeno de interferencia que genera interacción destructiva y constructiva de la radiación. El fenómeno de interacción es conocido como efecto coherente de "speckle", similar en apariencia en la imagen, al grano de una emulsión fotográfica. Como una definición, el "speckle" (Dewaele, et al., 1989) es el resultado de la interferencia destructiva o constructiva de las ondeletas coherentes desfasadas entre ellas, retrodispersadas desde una superficie cuya rugosidad es comparable a la longitud de onda de la radiación empleada. Como tal, el "speckle" es dependiente de la textura local de la escena bajo estudio. En este artículo se presentan una serie de resultados para segmentar texturas en imágenes SAR, empleando un esquema de crecimiento de regiones para la detección de objetos texturales específicos y una medida de entropía basada en la matriz de co-ocurrencia, para generar un mapa de texturas directamente relacionado a la superficie de la escena.

*Trabajo apoyado por el Proyecto IN100292 de DGAPA-UNAM y por INISEL ESPACIO.

2. REDUCCION DEL RUIDO "SPECKLE" EN IMAGENES SAR

Una manera de reducir fisicamente el "speckle" y el ruido aleatorio es por el promedio incoherente de N-vistas (N = 4 para el SEASAT) de la misma escena; esto reduce no obstante la resolución azimutal de la imagen. El promedio incoherente es el cálculo de la media aritmética de N-vistas; este tipo de promedio borra la imagen y reduce el detalle y requiere de varias observaciones de la escena que no siempre están disponibles.

La otra alternativa para la supresión del "speckle" es por filtraje digital de la imagen, esto demanda algunas suposiciones en cuanto al comportamiento del "speckle". Para imágenes de intensidad de una vista la función de densidad del campo del "speckle" está descrita por una función exponencial negativa. Cuando se consideran imágenes de intensidad de N-vistas (Leberl, 1990) la función de densidad es más bien una Chi-cuadrada con 2N grados de libertad, a medida que N se incrementa, esta función se aproxima a una distribución normal. Teóricamente (Elachi, 1988), el ruido "speckle" para imágenes de una vista obedece a una exponencial negativa y de aquí que sea multiplicativo en el sentido que su desviación estándar es proporcional a su media (Lee, 1983). No obstante, ha sido argumentado (Frost y Yurovsky, 1985; Tur et al., 1982) que el modelo multiplicativo no siempre es correcto. Por otro lado, el "speckle" no siempre está considerado como totalmente desarrollado (Nezry et al., 1991), ya que para áreas urbanas en imágenes de alta resolución, solamente algunos dispersores están incluidos en la celdilla unitaria.

En particular, las imágenes SEASAT y ERS-1 son promedios de N-vistas y resultados experimentales (Lee, 1981) muestran que la función de densidad es gaussiana. Resultados experimentales (Dewaele et al., 1989) muestran también que en imágenes SAR, los pixels tienen una pequeña correlación con sus mas cercanos vecinos y prácticamente se desvanece para los segundos y terceros vecinos; como resultado de esto, el ruido "speckle" puede ser considerado como blanco. Aun cuando el "speckle" está teóricamente muy correlacionado, en la práctica la suposicion de ruido casi blanco para imágenes del SEASAT y ERS-1 puede ser el resultado del promedio de N-vistas. Si la correlación llega a ser despreciable, se debe diseñar un algoritmo de corrección con media y varianza locales y dado que el "speckle" está directamente relacionado con la textura local el algoritmo debe ser adaptable.

Para un "speckle" no correlacionado con exponencial negativo como función de densidad un modelo de corrección fue desarrollado (Kuan, 1987) que conduce al llamado filtro máximo a-posteriori (MAP). Otro modelo, basado en datos experimentales (Li, 1988), sigue una distribución gaussiana no-blanca razonablemente bien al histograma del "speckle". Basado en resultados de correlación entre pixels vecinos, se adoptó un modelo de "speckle" dependientemente correlacionado con la señal. El tamaño de la correlación del "speckle", es en este modelo, aproximadamente del tamaño de la función incoherente de dispersión de punto del sistema.

Los modelos del "speckle", hacen de una manera u otra, varias simplificaciones (Leberl, 1990; Dewaele et al., 1989) que en la práctica no funcionan.

1.- La onda electromagnética incidente está perfectamente polarizada.
2.- La onda electromagnética incidente es perfectamente monocromática.
3.- El número de dispersores en la celdilla unitaria es necesariamente grande.
4.- El número de dispersores en una celdilla unitaria es constante.
5.- Las fases asociadas a los dispersores tienen una función de densidad uniforme.

Esto significa que los filtros basados en modelos de "speckle" no se comportan tan bien a medida que se desvían de estos hechos. Además de esto, los filtros tienden a borrar los bordes de la imagen ya que siempre introducen algún tipo de filtraje pasa bajas. El objetivo es reducir el ruido, preservando en mayor grado los escalones, los bordes y las líneas de la imagen. El tipo de filtro para esto, depende de la función de densidad o de la estructura geométrica del "speckle"; más detalles de ésto se dan en la siguiente sección.

3. FILTRAJE DIGITAL DEL "SPECKLE"

Comenzando con un enfoque simple, varios filtros adaptables fueron aplicados a dos imágenes (Figs. 1 y 2) SAR selectas: aerotransportada y satelital. Suponiendo que en regiones homogéneas la población de pixels presenta una distribución de valores aleatoria uniforme y que en áreas de bordes la población de pixels pertenece en su mayoría a él, se aplicó un promedio restringido y ponderado sobre una ventana, esto fue el caso para los filtros de k-próximos vecinos y el sigma. Habiendo aplicado estos filtros para ventanas de 5 x 5, permanece un ruido de tipo moteado, por lo que una cascada con el filtro de mediana parece apropiado. La combinación de cascada Sigma + Mediana, para ventanas de 5 x 5 y 3 x 3, respectivamente, produce resultados razonablemente buenos, aun cuando los bordes son un poco borrosos.

En un segundo paso y suponiendo que el "speckle" es una función de densidad gaussiana no correlacionada y un ruido de tipo multiplicativo, esto conduce a la aplicación del filtro de Lee multiplicativo (Lee, 1981) con una ventana de 5 x 5 y una varianza del ruido de $\sigma_v^2 = 0.28$, cuyo valor está tomado a partir de datos experimentales, es decir de la imagen misma. Resultados de este filtro muestran una pequeña mejoría visual con respecto a la cascada anteriormente mencionada. Con un modelo de "speckle" dependientemente correlacionado con la señal se produce una generalización del filtro de Lee multiplicativo. En esta generalización el filtro se adapta a las condiciones locales tomando una media y una varianza no-estacionarias de la imagen. La media no-estacionaria describe la estructura gruesa de la imagen, mientras que la varianza proporciona información de primer orden de los bordes y la textura. En este contexto y basado en el marco del filtraje de Wiener (Lim, 1990), se obtiene una fórmula que tiene la misma estructura y forma que la original del Lee multiplicativo pero que tiene una varianza variable para el ruido $\sigma_v^2(i, j)$, este filtro se aplicó a ambas imágenes proporcionando los mejores resultados visuales.

Es importante puntualizar que el valor de σ_v^2 proviene de gráficas obtenidas directamente de las imágenes SAR, puede no ser el mismo para imágenes aerotransportadas o satelitales, cada clase requiere su propia estimación de σ_v^2. El ruido "speckle" es, en general, del mismo orden de

magnitud que los detalles finos, de tal manera que al incrementar σ_v^2 se incrementa el grado de filtraje pero también se borran los detalles finos. Similarmente, la función de densidad asociada al campo del "speckle" está directamente relacionada con el número de vistas.

En un tercero y último paso, la reducción del "speckle" puede llevarse a cabo también por medio del filtro geométrico basado en la operación morfológica (Pratt, 1991) de Intersecta o No-intersecta. Varias suposiciones básicas se hacen para este filtro. Primero, el patrón del ruido "speckle" se piensa como formado por picos de no más de 3 pixels de ancho. Esto está de acuerdo con el hecho de que la función de autocorrelación del "speckle" se desvanece rápidamente para segundos o más alejados vecinos. Obviamente, los detalles de 3 o menos pixels serán eliminados. Segundo, el campo de la imagen se supone estacionario. Tercero, el ruido y la imagen están descorrelacionados ya que el "speckle" se genera independientemente para cada pixel. La transformación Intersecta o No-intersecta se define (Pratt, 1991) como sigue: Se construye una máscara patrón binaria sobre una ventana dada. A medida que la ventana se desliza sobre la imagen, el estado lógico (0 ó 1) del pixel de la imagen en correspondencia con el centro de la ventana se cambia toda vez que el patrón máscara coincide con los valores de la imagen. Para el filtro morfológico se consideraron las siguientes ocho máscaras

```
1                   1  1 1   1 1 1   1 1 1     1 1
1 0   1 0     0 1   0 1  1 0   1 0     0 1     0 1
1 1   1 1 1   1 1 1   1 1  1                     1
```

El algoritmo del filtro geométrico trabaja como sigue: se definen cuatro direcciones, horizontal, vertical y las dos diagonales principales, a lo largo de cada una de ellas el perfil de valores de grises se considera como una imagen binaria: el área bajo el perfil, definido como umbral, se toma como unos, el resto como ceros. A esta imagen binaria, se le aplica la transformación Intersecta o No-intersecta empleando las máscaras arriba definidas, entonces se obtiene el complemento del resultado y las máscaras se aplican nuevamente. Nótese que solamente un cierto patrón de pixels es explícitamente dado para cada máscara, toda vez que este patrón se encuentra en el umbral, la transformacion Intersecta o No-intersecta es aplicada independientemente del valor del resto de los pixels. Tal procedimiento es ejecutado a todo perfil para cada dirección y esto es tomado como una interacción del algoritmo. Varias iteraciones son requeridas para eliminar el "speckle" y un criterio cuantitativo es proporcionado para determinar el fin del algoritmo, aún cuando el procedimiento es convergente. Por otro lado, la transformación particular Intersecta o No-intersecta puede ser vista como un caso específico de erosión y dilatación (Pratt, 1991) que elimina los picos del umbral y reduce por lo tanto el "speckle". Este filtro proporciona los mejores resultados visuales (Figs. 3 y 4), de tal forma que fue seleccionado como un paso previo a la segmentación textural.

Supongamos ahora que una cierta área homogénea en la imagen contiene únicamente un objeto. Para esta área una cierta media μ y una desviación estándar σ son asociadas. A medida que el "speckle" se reduce en cada iteración, un valor más bajo de σ es de esperarse, de tal manera que el cociente $\alpha = \sigma/\mu$ es un indicador de primer grado de la suavidad del área del objeto: es cero para una área plana y toma un cierto valor máximo para un caso no filtrado. Para cada iteración el índice del "speckle" α es evaluado, cuando su valor de cambio para iteraciones sucesivas es menor que un umbral predefinido $\Delta\alpha \leq \varepsilon$ el algoritmo es terminado. El índice de "speckle" puede ser definido también como un promedio de cocientes σ/μ para ventanas no traslapadas que cubran la imagen. Todo parece indicar que α estimada a partir de una área homogénea proporciona la mejor medida del grado de reducción del "speckle", aun cuando esto requiere de una iteración manual al comienzo del algoritmo. Puntualizamos, finalmente, que el concepto de umbral es únicamente para propósitos de ilustración, en la práctica el algoritmo trabaja directamente con los valores de los pixels de la imagen a lo largo de las cuatro direcciones mencionadas.

4. SEGMENTACION POR CRECIMIENTO DE REGIONES

La reducción del "speckle" en el presente contexto es de hecho una etapa de preproceso hacia la segmentación de la imagen en regiones significativas no traslapadas. El ruido "speckle" dificulta la clasificación de los pixels de la imagen en categorías con significado, de aquí su modelaje y filtrado. Vale la pena mencionar que al aplicar un filtraje que preserve los bordes en la imagen, el ruido se reduce y el histograma se transforma, en general, de unimodal a multimodal preparando la imagen para una mejor segmentación. La segmentación de una imagen es el agrupamiento de los pixels en regiones conectadas no-traslapadas que pueden poseer una correspondencia significativa con los objetos de la escena. El agrupamiento se lleva a cabo basado en propiedades espectrales y espaciales de los pixels. Las regiones resultantes pueden no tener una relación directa o evidente con los objetos de la escena representados en la imagen. La segmentación es, en cualquier caso, un paso necesario hacia el análisis de la imagen y el reconocimiento de patrones.

El crecimiento de regiones (Besl, 1988) es uno de los métodos para la segmentación de la imagen. Muchas imágenes de radar son monocromáticas por lo que son adecuadas para las técnicas de crecimiento de regiones; una definición formal sigue ahora: Dada una imagen f y un predicado lógico de uniformidad $E[\bullet]$, encontrar una partición o segmentación S de la imagen en términos de un conjunto de regiones R_i. Sea N_r el número de regiones en la segmentación. Entonces las condiciones de la segmentación para el conjunto S se establecen como

1.- $\bigcup_{i=1}^{N_r} R_i = f$, donde $R_i \subseteq f$, $\forall$ i. (1)

2.- $R_i \cap R_j = \emptyset$, $\forall$ i $\neq$ j. (2)

3 - R_i es un conjunto de pixels 4-conectados. (3)

4.- $E[R_i]$ = Verdadero, $\forall$ i. (4)

5.- $E[R_i \cup R_j]$ = Falso, $\forall$ i $\neq$ j. (5)

El resultado de la segmentación es el conjunto S dado por

$$S = \bigcup_{i=1}^{N_r} R_i$$

El aspecto principal en este esquema de crecimiento de regiones es evidentemente la definición especifica del predicado de uniformidad $E[\bullet]$ y algunas restricciones impuestas al proceso. La primera restricción es requerir que R_i esté compuesta de un número mínimo de pixels con el objeto de evitar la satisfacción trivial del predicado (4). Otras restricciones pueden incluir una cierta forma o un tamaño máximo para R_i. El crecimiento de una región puede parar también cuando algún nivel de borde sea encontrado. Evidentemente, entre más restricciones, mayor el costo computacional. Para sistemas de análisis digital de bajo nivel de restricción (Besl, 1988), la segmentación puede alcanzarse rápida y precisamente, pero para medios menos restringidos, se requiere usualmente un conocimiento semántico de alto nivel acerca de la escena con el objeto de obtener una segmentación precisa con regiones significativas.

Tres criterios se adoptaron para el predicado de uniformidad $E[\bullet]$

1.- **Diferencia de Tono -** El valor diferencia entre el pixel centrado en una ventana y el promedio de sus vecinos es evaluado, si el resultado no excede un umbral predefinido, el pixel central es agregado a la región.
2.- **Correlación -** El valor diferencia entre el pixel centrado en una ventana y la correlación normalizada entre la ventana original y la actual es evaluado, si el resultado no excede un umbral predefinido, el pixel central es agregado a la región
3.- **Entropía -** El valor diferencia de entropía entre la ventana original y la actual es evaluado, si el resultado no excede un umbral predefinido, el pixel central es agregado a la región.

En breve, la aceptación de un pixel a una región R_i depende de la cercanía de su valor a un criterio de uniformidad dado. En cualquier caso, el crecimiento comienza al sembrar un pixel en una área homogénea y para cuando el predicado de uniformidad no se satisface más. El algoritmo trabaja para ventanas variables y umbrales predefinidos. Vale la pena mencionar que SANDI (Lira y Landgrave, 1992) fue utilizado como un medio base para instalar y probar los métodos desarrollados en el presente trabajo.

En el presente estado de desarrollo, el procedimiento de crecimiento de regiones comienza cuando un pixel típico de un objeto o región tipo es sembrado en la imagen. La posición del pixel sembrado no es crucial mientras el factor de umbral se ajuste de acuerdo a la media y la desviación estándar de la ventana vecindad sembrada. A medida que el tamaño de la ventana se incrementa, texturas mas gruesas pueden ser tomadas en cuenta pero a expensas de reducción en certeza en lo que concierne a la posición y definición de las clases. La certeza a la membresía de una clase se incrementa a expensas de la precisión espacial. La exactitud en la clasificación todavía está en consideración.

Tres aspectos son críticos en el crecimiento de regiones: el sembrado de un pixel, el tamaño de la ventana y el umbral. El primero se realiza interactivamente al seleccionar un pixel representativo de la clase de textura a ser segmentada. Centrada en cada pixel sembrado se considera una ventana de tamaño 1 x 1 para la cual σ^i / μ^i es una primera aproximación de la dispersión de los valores de los pixels. Solamente ventanas impares son empleadas por lo que l = 2a + 1, donde a es un número natural. Los parámetros σ^i y μ^i son la desviación estándar y la media de la población de pixels de la ventana. La localización de un pixel sembrado no es crucial mientras el umbral se ajuste de acuerdo a lo siguiente

$$\varepsilon^i_{d1} = k_{\sigma\mu} \frac{\sigma^i}{\mu^i} \quad \text{, para la clase i.} \tag{7}$$

donde $k_{\sigma\mu}$ es una constante que normaliza el umbral en el intervalo entre 0 y 1. En otras palabras, para una ventana dada, si el crecimiento de regiones es iniciado desde dos pixels diferentes pero que pertenecen a la misma clase de tono (Diferencia de Tono), se obtiene una segmentación básicamente equivalente si el umbral se ajusta de acuerdo a las condiciones de la ventana local de acuerdo a (7).

El intervalo del umbral es entre 0 y 1, un valor cero conduce al caso trivial de una clase vacía, el valor uno produce la imagen entera, la mejor estimación para este umbral será discutida después. Como una primera instancia, una estimación óptima para el tamaño de la ventana se presenta para los tres predicados de uniformidad empleados en este trabajo. Construyamos una distribución de frecuencias para los valores de los pixels (Gong y Howart, 1992) para cada ventana inicial de clase de los pixels sembrados. Sea $h^i_l(v)$ una distribución para la clase i y para un tamaño de ventana 1 x 1, donde v es el valor de un pixel y la función $h^i_l(v)$ misma es su frecuencia de ocurrencia. Una distancia entre un par de clases (i,j) puede ser ahora definida

$$d^l(i,j) = \frac{1}{N_g - 1} \sum_{v=0}^{Nv-1} \frac{|h^i_l(v) - h^j_l(v)|}{\sigma^i_l(v) + \sigma^j_l(v)} \tag{8}$$

donde N_g es el máximo posible valor de pixel, en el presente caso $N_g = 255$. La distancia promedio para todos los pares de clases es entonces

$$\bar{d} = \frac{1}{N_c(N_c - 1)} \sum_{i=1}^{N_c-1} \sum_{j=1}^{N_c} d^l(i,j) \tag{9}$$

donde N_c es el número de clases. Para el predicado de uniformidad de Diferencia de Tono, el mejor tamaño de ventana 1 está dado para $\bar{d}$ máximo.

Los predicados de uniformidad de Correlación y Entropía, especialmente adecuados para análisis de texturas, requieren de un enfoque diferente. Si (k,l) y (m,n) son las coordenadas de los pixels sembrados para las clases i y j respectivamente, la correlación entre las ventanas de las clases Z_i y Z_j es

$$C^l(i,j) = \frac{1}{N_g(2a+1)^2} \sum_{d_2=-a}^{a} \sum_{d_1=-a}^{a} Z_i(k-d_1, l-d_2) Z_j(m+d_1, n+d_2) \tag{10}$$

La correlación promedio de todos los pares de clases es entonces

$$\overline{C} = \frac{1}{N_c(N_c - 1)} \sum_{i=1}^{N_c-1} \sum_{j=1}^{N_c} C^i(i,j) \qquad (11)$$

El tamaño óptimo de ventana es aquel que genera la mínima $\overline{C}$.

La entropía para la ventana de una clase dada es

$$E_i^i = -\sum_{r=1}^{k} \sum_{s=1}^{k} c_{rs}^i \mathrm{Log} c_{rs}^i \qquad (12)$$

donde c_{rs} son los elementos de la matriz de co-ocurrencia promediados sobre las ocho posibles direcciones; una cuenta detallada de esta fórmula se da en la siguiente sección. Para seguir el mismo razonamiento que arriba se requiere establecer un valor de entropía para un par de ventanas de clases. La matriz de co-ocurrencia se genera sobre el número normalizado de pares de pixels que ocurren en una dirección. Para dos clases construyamos una matriz de co-ocurrencia basada en los pares que ocurren pixel a pixel en las dos ventanas. Para dos clases idénticas, esta matriz de co-ocurrencia tendría solamente un elemento diferente de cero igual a uno, la entropía conjunta E_c sería cero; para clases diferentes, se obtendría un cierto valor alcanzando un máximo cuando las clases sean totalmente diferentes. Por tanto el valor promedio

$$\overline{E} = \frac{1}{N_c(N_c - 1)} \sum_{i=1}^{N_c-1} \sum_{j=1}^{N_c} E^i(i,j) \qquad (13)$$

es máximo para el mejor tamaño de ventana.

Una estimación del umbral proviene de cada predicado de uniformidad y de condiciones locales de las ventanas de los pixels sembrados, por tanto para una cierta ventana de clase con coordenadas centrales (k,l), el umbral para la correlación es

$$\varepsilon_c^i = k_c \sum_{d_1} \sum_{d_2} Z_i(k+d_1, l+d_2) Z_i(k-d_1, l-d_2) \qquad (14)$$

y para la entropía es

$$\varepsilon_e^i = -k_e \sum_{r} \sum_{s} c_{rs}^i \mathrm{Log} c_{rs}^i \qquad (15)$$

El umbral para la Diferencia de Tono está dado por la ecuación (7). Las constantes k_c y k_e son para propósitos de normalización como ya se discutió arriba. El mejor umbral se obtiene después de haber examinado la matriz de Jeffries-Matusita para todas las distancias entre clases. La generacion de un mapa de texturas requiere de una categorización global de texturas para toda la imagen, esto se hizo en dos pasos: una evaluación de entropía y un análisis de cúmulos sobre una imagen multiespectral híbrida compuesta de dos bandas: la imagen original y la salida del análisis de entropía.

5. SEGMENTACION DE TEXTURAS DE LA IMAGEN ENTERA

Se desarrolló una segmentación independiente de texturas por medio del criterio de entropía (Haralick, 1979) basado en el concepto de la matriz de co-ocurrencia (González y Wintz, 1987), en combinación con el análisis de cúmulos. La matriz de co-ocurrencia se construye como sigue: Sea β un operador vectorial de posición, sea k el número permitido de valor de pixel en la imagen y sea μ_β una matriz de k x k cuyo elemento (p,q) es el número de veces que un pixel con valor λ_p ocurre en una posición dada por β relativo a un pixel con valor λ_q. El operador β se define aquí para las ocho direcciones dadas por el Código de Freeman. Dado que la correlación entre pixels se desvanece rápidamente a medida que éstos se apartan, la longitud de β no necesita ser más grande que la distancia entre vecinos cercanos. Entonces para un pixel dado, sus vecinos con conectividad-8 son los que usualmente contribuyen lo más a la matriz μ_β. Nótese que la dimensión de μ_β está determinada por el máximo valor de pixel independientemente del tamaño de la imagen. En la presente implantación, una ventana deslizante de tamaño variable (3 x 3, 5 x 5,... 11 x 11) puede ser empleada para calcular la matriz μ_β asociada a cada vecindad de pixel. El elemento m_{pq} de μ_β almacena el número de veces que un par de valores (λ_p, λ_q) ocurren en la posición relativa dada por β, una vez evaluada μ_β, cada elemento m_{pq} es dividido por el número total de pares, el resultado es una nueva matriz *C* llamada matriz de co-ocurrencia, que caracteriza en buena aproximación la probabilidad conjunta de que un par de pixels que satisfagan β tengan valores (λ_p, λ_q). En otras palabras la matriz *C* es una aproximación a la función de densidad conjunta. Existe simetría axial en las ocho direcciones escogidas de tal manera que *C* es una matriz simétrica. Esta matriz es de hecho el histograma bidimensional cuando la ventana iguala al tamaño de la imagen.

Para caracterizar el contenido de la matriz de co-ocurrencia, se utiliza el criterio de entropía

$$\text{Entropía} = -\sum_{p=1}^{k} \sum_{q=1}^{k} c_{pq} \mathrm{Log} c_{pq}$$

donde c_{pq} son los elementos de la matriz *C*. Esta expresión está basada en leyes termodinámicas y proporciona una medida de orden y probabilidad de un sistema cerrado de la siguiente manera

Entropía Alta - Menos Orden - Alta Probabilidad de Ocurrencia.
Entropía Baja - Mayor Orden - Baja Probabilidad de Ocurrencia.

La función de densidad conjunta c_{pq} es siempre menor o igual a uno. Cuando los valores de los pixels en la ventana deslizante son todos iguales, una de las $c_{pq} = 1$ y el resto son cero, de aquí que Entropía = 0: su mínimo valor. Si los valores de los pixels son todos diferentes, entonces $c_{pq} < 1$ y Entropía > 0, con un cierto máximo valor. Por tanto a una área de textura suave (alto orden) en la imagen le corresponde un valor bajo de pixel (tono oscuro) en la imagen de textura. Una textura gruesa se traduce en tonos claros, esto implica que un mapa de texturas segmentadas es posible al formar cúmulos de tonos (valores de pixels)

de la imagen de textura. Esto se realizó por medio de la siguiente hipótesis: la imagen original contiene la información espectral (tono) de la escena y la imagen de textura lleva la información espacial, por tanto una combinación de estas dos imágenes en una imagen multiespectral de dos bandas debe proporcionar el análisis de texturas de la escena. El análisis fue llevado a cabo con el Algoritmo de Cúmulos llamado de Isodata.

6. RESULTADOS

Dos imágenes SAR de 512 x 512 pixels con una resolución de 25 m fueron utilizadas para probar los métodos desarrollados en este trabajo. Una es una subregión de una imagen SEASAT conocida como del anticlinal de Obayos, localizado en el norte de México, la otra es una imagen aerotransportada del norte de Holanda. Fue confirmado experimentalmente que la función de densidad del "speckle" para la imagen SEASAT es Gaussiana y Rayleigh para la aerotransportada. A ambas imágenes se aplicaron una serie de filtros (sección 3) con los resultados arriba discutidos. Aun cuando el filtro de Lee multiplicativo borra algo los bordes de la imagen, su comportamiento es tan bueno como el del filtro geométrico en lo que al crecimiento de regiones se refiere. Para los propósitos de clasificación de texturas basada, en la entropía, es mejor utilizar el filtro geométrico de antemano.

Se aplicaron dos tipos de procedimientos de crecimiento de regiones a ambas imágenes. Para la imagen SEASAT, se distinguieron claramente dos clases de texturas, utilizando el criterio de la correlación normalizada y con una ventana de 5 x 5, estas clases presumiblemente corresponden a dos unidades litológicas, se requiere de más trabajo en esta dirección. Para la imagen aerotransportada (Fig. 5) se separaron claramente una ciudad y un campo de cultivo empleando el mismo criterio y la misma ventana. Algunas pruebas con el criterio de entropía fueron también ejecutadas y una ventana de 5 x 5 parece proporcionar una segmentación más detallada para la textura, aún cuando el costo computacional es mayor. Todas las pruebas fueron aplicadas después de una iteración del filtro geométrico. Se trabajó una clasificación separada por medio de la matriz de co-ocurrencia y el criterio de entropía para toda la imagen SEASAT. Una operación subsecuente de cúmulos con 4 clases indica una clara categorización (Fig. 6) de texturas. Las bandas empleadas en esta operación de cúmulos fueron la imagen filtrada con el filtro geométrico con una iteración (α= 10%) y la que resulta de la medida de entropía. Se realizó una comparación con una operación de cúmulos (Fig. 7) utilizando la imagen original sin filtraje y la que resulta de la medida de la entropía. En ambos casos se evaluaron la matriz de covarianza y la distancia de Jeffries-Matusita (Tablas 1 y 2). Una inspección visual (Figs. 6 y 7) y la comparación de estas matrices muestran claramente una mejoría en la clasificación cuando la imagen filtrada es incluida en el análisis de cúmulos.

7. CONCLUSIONES

Se ha presentado un método para detectar objetos texturales específicos o para generar una segmentación global en imágenes SAR. Se ha proporcionado también una metodología para la reducción del "speckle" y su impacto en el análisis de texturas. Se presentan resultados empleando imágenes SAR aerotransportadas y satelitales, pero el método es aplicable a cualquier imagen de rango generada por medio de radiación coherente.

En comparación con trabajos previos (Conners et al., 1984; Peddle y Franklin, 1991; He y Wang, 1990), el cálculo de la entropía aquí está basado en el promedio de la matriz de co-ocurrencia promediada sobre las ocho direcciones definidas por el Código de Freeman. Esto reduce la dependencia de la textura sobre posibles variaciones en condiciones de luminosidad u otros corrimientos monotónicos de los valores de los pixels en la imagen.

La detección de objetos texturales utilizando el procedimiento de crecimiento de regiones puede ser visto como un paso previo para evaluar características morfológicas y topológicas de aspectos selectos de la escena. Estos datos pueden ser, a su vez, empleados como entrada a una base de datos para el manejo de recursos relacionados con la escena.

La reducción del "speckle" tiene claras consecuencias sobre la segmentación de texturas: existe una mejoría visual después del filtraje, resultando en un mapa suave (Fig. 6) de texturas. Antes del filtraje del "speckle" se observa una fragmentación (Fig. 7) de las clases de texturas. Además de esto, la matriz de covarianza y la distancia de Jeffries-Matusita muestran una mejoría en cuanto a la compactividad y separación de clases.

Una generalización de la evaluación de la entropía a imágenes multiespectrales podría proporcionar un clasificador contextual-espectral, no obstante los cálculos serían más bien elaborados involucrando un alto costo computacional.

AGRADECIMIENTOS

Una parte importante de este trabajo fue realizada durante la estancia del primer autor (J. L.) en INISEL ESPACIO, el apoyo de esta institución así como de los colegas españoles se agradece cordialmente.

TABLA 1.- MATRIZ DE COVARIANZA Y DISTANCIA JEFFRIES - MATUSITA ANTES DE LA REDUCCION DEL "SPECKLE"

Clase de Textura	Matriz de Covarianza	
Suave (1)	100.25	327.55
	327.55	1515.32
Regular (2)	1218.22	2009.24
	2009.24	3636.45
Intermedia (3)	258.04	-27.33
	-27.33	692.15
Rugosa (4)	247.10	-155.48
	-155.48	786.23

Distancia Jeffries - Matusita	1	2	3	4
1	0.000	0.779	2.000	2.000
2	0.779	0.000	1.989	1.999
3	2.000	1.989	0.000	1.563
4	2.000	1.999	1.563	0.000

TABLA 2.- MATRIZ DE COVARIANZA Y DISTANCIA JEFFRIES - MATUSITA DESPUES DE LA REDUCCION DEL "SPECKLE"

Clase de Textura	Matriz de Covarianza	
Suave (1)	17.89	48.22
	48.22	140.75
Regular (2)	115.90	444.27
	444.27	1880.23
Intermedia (3)	498.53	252.25
	252.25	478.64
Rugosa (4)	1752.33	-1254.33
	-11254.33	1542.13

Distancia Jeffries - Matusita	1	2	3	4
1	0.000	1.015	2.000	2.000
2	1.015	0.000	1.918	2.000
3	2.000	1.918	0.000	1.975
4	2.000	2.000	1.975	0.000

REFERENCIAS

P. J. BESL (1988). **Surfaces in Range Image Understanding,** *Springer Verlag.*

R. W. CONNERS, M. M. TRIVEDI and CH. A. HARLOW (1984). **Segmentation of High-Resolution Urban Scene Using Texture Operators,** *Computer Vision, Graphics and Image Processing, Vol. 25, pp. 273-310.*

P. DEWAEL, P. WAMBACQ and A. OOSTERLINCK (1989). **Speckle Reduction Techniques for SAR Images,** *Technical Report, ESA/ESTEC, No. 8072/88/NL/PP(SC).*

CH. ELACHI (1988). **Spaceborne Radar Remote Sensing: Applications and Techniques,** *IEEE Press.*

P. GONG and P. J. HOWARTH (1992). **Frequency-Based Contextual Classification and Gray-Level Vector Reduction for Land-Use Identification,** *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 58, pp. 423-437.*

R. C. GONZALEZ and P. WINTZ (1987). **Digital Image Processing,** *Addison & Wesley.*

R. M. HARALICK (1979). **Statistical and Structural Approaches to Texture,** *Proceedings of the IEEE, Vol. 67, pp. 786 - 804.*

D. C. HE and L. WANG (1990). **Recognition of Lithological Units in Airborne SAR Images Using New Texture Features,** *International Journal of Remote Sensing, Vol. 11, pp. 2337-2344.*

M. KOLAWALE (1991). **A Sparse Canopy Forest Backscatter Model,** *Proceedings IGARSS'91, Vol. I, pp. 5-9, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, June 3-6.*

D. KUAN et al., (1987). **Adaptive Restoration of Images With Speckle,** *IEEE Transactions on Acoustic, Speach and Signal Processing, Vol. AES-11, No. 3.*

R. KWOK, M. DRINKWATER, A. PANG and E. RIGNOT (1991). **Characterization and Classification of Sea Ice in Polarimetric SAR Data,** *Proceedings IGARSS'91, Vol. I, pp. 81-84, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, June 3-6.*

F. W. LEBERL (1990). **Radargrammetric Image Processing,** *Artech House, Inc.*

J. LEE (1981). **Speckle Analysis and Smoothing of Synthetic Aperture Radar Images,** *Computer Graphics and Image Processing, Vol. 17, pp. 24-32.*

J. LEE (1983). **A Simple Speckle Smoothing Algorithm for Synthetic Aperture Radar Images,** *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC-13, pp. 85-89.*

C. LI (1988) **Two Adaptive Filters for Speckle Reduction in SAR Images by Using the Variance Ratio,** *International Journal of Remote Sensing, Vol. 9, No. 4.*

J. S. LIM (1990). **Two-Dimensional Signal and Image Processing,** *Prentice Hall.*

J. LIRA and R. LANDGRAVE (1992). **Sistema de Análisis Digital de Imágenes,** *Versión Revista SELPER, aceptado para publicación.*

M. MAROM and L. SHEMER (1991). **Estimation of Ocean Wave Energy Density Spectra Using Interferometric SAR,** *Proceedings IGARSS'91, Vol. II, pp. 453-458, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, June 3-6.*

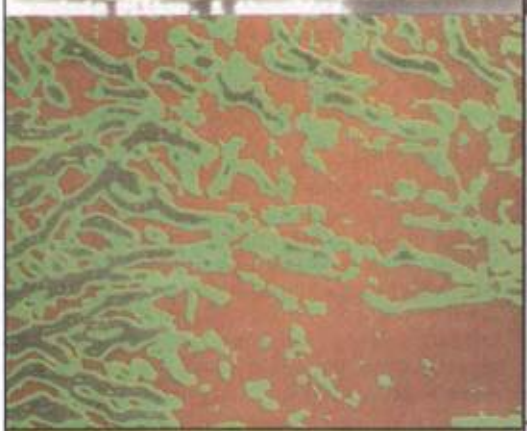
E. NEZRY, A. LOPES and R. TOUZI (1991). **Detection of Structural and Textural Features for SAR Images Filtering,** *Proceedings IGARSS'91, Vol. IV, pp. 2169-2172, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, June 3-6.*

D. P. PEDDLE and S. E. FRANKLIN (1991). **Image Texture Processing and Data Integration for Surface Pattern Discrimination,** *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 57, pp. 413-420.*

W. K. PRATT (1991) **Digital Image Processing,** *Wiley Interscience.*

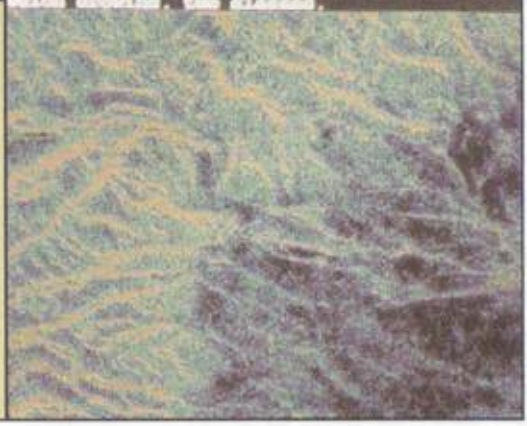
M. TUR et al. (1982). **When Speckle Noise is Multiplicative,** *Applied Optics, Vol. 21, No. 7.*

L. WANG and D. C. HE (1990). **Recognition of Lithological Units in Airborne SAR Images Using New Texture Features,** *Proceedings IGARSS'90, Vol. I, pp. 991-994, College Park, MD, May 20-24.*



2	1
4	3
6	5
	7

FIGURA 1.- IMAGEN AEROTRANSPORTADA ORIGINAL.
FIGURA 2.- IMAGEN DE SATELITE ORIGINAL.
FIGURA 3.- IMAGEN AEROTRANSPORTADA DESPUES DE UNA ITERACION DEL FILTRO GEOMETRICO.
FIGURA 4.- IMAGEN DE SATELITE DESPUES DE UNA ITERACION DEL FILTRO GEOMETRICO.
FIGURA 5.- SEGMENTACION DE LA CIUDAD Y DE UN CAMPO DE CULTIVO.
FIGURA 6.- MAPA DE TEXTURAS DESPUES DE LA REDUCCION DEL "SPECKLE"; ANARANJADO: SUAVE, VERDE CLARO: REGULAR, VERDE OSCURO: INTERMEDIA, AMARILLO: RUGOSA.
FIGURA 7.- MAPA DE TEXTURAS ANTES DE LA REDUCCION DEL "SPECKLE"; AZUL OSCURO: SUAVE, AZUL CLARO: REGULAR, AMARILLO: INTERMEDIA, ROSA: RUGOSA.



Nota: Estas Figuras aparecen en B/N en página 24
Note: These Figures appears on B/W on page 24

SINERGISMO RADAR ERS-1 / TM LANDSAT

Ing. Marcelo Guevara N.

CLIRSEN. Seniergues s/n y Gral. Paz y Miño, 4º Piso, Edificio IGM.
Aptdo. 8216. Quito, Ecuador - Tel.: (59.32) 549.472. Fax: (59.32) 581.066

Abstract

Data integration is obviously not a new concept and has been pursued for many years on an analog basis in many Earth science disciplines. However, rapid advances in image analysis hardware and software have allowed for greater flexibility and innovative techniques for combining and integrating digital data.

Many techniques exist for combining digital data. However, the end products (i.e., color composite images) are often difficult to interpret quantitatively and qualitatively as the statistical properties of the data have been manipulated and, thus, the original integrity of the data is not left intact.

The color display transforms such as intensity-hue-saturation (IHS) can be used to produce more effective and controlled visual presentation of the data for both qualitative and qualitative interpretation procedures. The IHS color transform has seen many applications for the display of remotely sensed data.

This paper describes examples of IHS transformed images for the integration of TM LANDSAT and SAR - ERS-1 data.

1.- INTRODUCCION

Una de las mayores limitaciones que se encuentran en el uso de la Percepción Remota es la presencia de nubes. En un momento determinado una gran parte de la superficie terrestre está nublada y en algunas regiones tales como los trópicos, lugar donde se encuentra situado nuestro país, la cobertura es casi permanente.

En consecuencia, debido a las condiciones atmosféricas y a la nubosidad, un enfoque multitemporal para el mapeo del uso de la tierra sufre de ciertas limitaciones. Este problema ha sido parcialmente resuelto por el Sistema SPOT y su capacidad de observación fuera del Nadir y por el uso combinado de imágenes SPOT y LANDSAT para la misma región, pero en algunas áreas tropicales aún hay una elevada carencia de información y es allí donde la imagen radar y su potencial para el mapeo temático puede ser de especial importancia.

Por otro lado, las técnicas de procesamiento digital de imágenes han evolucionado en el sentido de integrar datos de diferentes sistemas sensores.

Bajo este contexto, este artículo tiene el propósito de presentar un producto, resultante de la integración de una imagen radar SAR - ERS-1 y una imagen LANDSAT TM.

2.- ZONA DE ESTUDIO

Luego del análisis de la disponibilidad de datos orbitales de los dos sensores, tomando en cuenta que la información radar se encuentra menos distorsionada en zonas planas, se seleccionó la zona de manglares al Sur de la ciudad de Guayaquil, y el Valle de los Chillos, considerando además la importancia ecológica y económica de estos sectores.

3.- PRODUCTOS SATELITARIOS UTILIZADOS

TM LANDSAT

Imágenes georeferenciadas, adquiridas el 15 de octubre de 1991 (Imagen Quito) y 29 de abril de 1991 (Imagen Guayaquil), bandas: 3 (0.63 -0.69 um), 4 (0.76 - 0.90 um) y 5 (1.55 - 1.75 um). Resolución espacial 30 mts. x 30 mts.

SAR - ERS-1

Imágenes adquiridas, el 17 de abril de 1992 (Orbita 3949 Guayaquil) y el 19 de mayo de 1992 (Orbita 4407 Cotopaxi), banda C (longitud de onda de 5,6 cm. equivalente a una frecuencia de 5.3 GHZ.), resolución espacial de 30 m. x 30 m., ángulo de incidencia de 23°, polarización VV, con filtraje basado sobre la mediana, el cual se ha aplicado con éxito para reducir el moteado brillante de las imágenes radar (Blom y Daily, 1982) debido a que suprime el ruido respetando los bordes.

SOFTWARE

MERIDIAN versión 3.2.

4.- METODOLOGIA

La metodología empleada consiste de dos fases:

REGISTRO GEOMETRICO de los datos de los productos a ser integrados. FUSION DE LOS DATOS registrados en un producto único.

5.- REGISTRO GEOMETRICO

Tanto la imagen TM LANDSAT como la imagen SAR ERS-1, fueron corregidas geométricamente con cartografía básica a la que se pretendió ajustar las imágenes separadamente y luego ajustarlas entre sí, considerando como referencia la imagen TM LANDSAT.

Para calcular cualquier función entre dos o más variables, es necesario contar previamente con una serie de observaciones comunes a todas ellas. La calidad del ajuste dependerá de la precisión con que se localicen esos puntos, el establecimiento de puntos de control resulta la fase más crucial del proceso de corrección y la que demanda mayor dedicación humana.

Para que el ajuste entre imagen y mapa, y entre imágenes, sea correcto, se requirió atender a tres aspectos en la selección de los puntos de control: número, localización y distribución.

El número idóneo de puntos de control depende del tamaño y de la topografía del terreno. Si las deformaciones que presentan son importantes, conviene aplicar funciones de transformación complejas. Cuanto mayor sea el grado de la ecuación de ajuste, se precisa también un mayor número de puntos de control.

En las zonas de estudio el contraste topográfico no es de trascendencia, sin embargo se seleccionó un polinomio de transformación de segundo grado en la siguiente forma:

$$F(x, y) = a_1 + a_2x + a_3y + a_4x^2 + a_5y^2 + a_6xy$$

y aproximadamente 30 puntos de control para cada registro (matemáticamente son necesarios solamente seis puntos) para garantizar una buena conformidad.

En cuanto a la localización, se determinaron puntos claramente identificables, preferiblemente rasgos humanos no sujetos a dinamismo temporal (piscinas de las camaroneras, corte de caminos, puentes, etc...)

Respecto a la distribución, los puntos de control se situaron uniformemente sobre la imagen. Esto evitó errores debido a una ponderación excesiva de algún sector del área de estudio.

La bondad del grado de ajuste se mide con los residuales. Como es bien sabido, el residual de la regresión es la diferencia entre el valor estimado y el valor real, para cada una de las observaciones empleadas en el proceso. En nuestro caso se optó por un residual máximo de 1 pixel (30 m.).

En primera instancia el residual era superior al inicialmente marcado en el trabajo, se procedió a suprimir el o los puntos que ofrecían una mayor desviación en las estimaciones. Una vez eliminados, se calcularon de nuevo los coeficientes.

Los polinomios de transformación citados anteriormente permiten traducir coordenadas de la imagen TM LANDSAT a la imagen SAR - ERS -1. Ahora bien, si pretende crearse una imagen que se corresponda adecuadamente con esas coordenadas, resultaba necesario trasvasar de alguna forma los niveles digitales de la imagen original a esa nueva posición. Para este efecto se usó la interpolación bilineal, la cual promedia el nivel digital de los cuatro pixeles más cercanos en la imagen inicial.

6.- FUSION DE LOS DATOS REGISTRADOS:

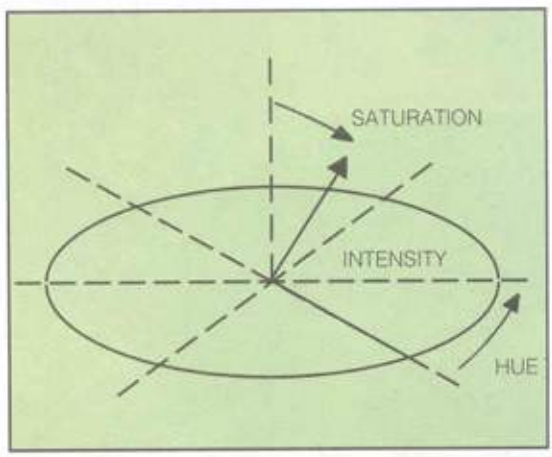
TRANSFORMACION IHS (Intensity, hue, saturation)

El sistema de color ROJO-VERDE-AZUL (RGB por sus nombres en inglés) comúnmente usado para desplegar tres canales de las imágenes satelitarias en Percepción Remota, es simple y efectivo, sin embargo tiene algunos defectos, entre los que se destaca que el sistema RGB no está basado en atributos del color definidos fácilmente y en consecuencia las variaciones del color definidas por la mezcla de los colores primarios no pueden ser descritos numéricamente.

Un sistema efectivo que supera todos estos inconvenientes es la transformación IHS, la cual esta definida por tres atributos de color, independientes, ortogonales y fácilmente percibidos: Intensidad, Matiz y Saturación.

El sistema de coordenadas IHS puede representarse geométricamente como una esfera.

La intensidad, la cual representa la energía total o la brillantez de la imagen, está definida por el radio de la esfera. El matiz representa la longitud de onda promedio del color y está definido por el ángulo central de la esfera. La saturación es considerada como la pureza del color (porcentaje de luz blanca en la imagen) y está definida por la colatitud de la esfera.



7.- FUSION

En el presente trabajo, las bandas TM5, TM4 y TM3 fueron procesadas por la transformación del espacio RGB, al espacio IHS.

El histograma de la componente S (saturación), fue modificado con el objetivo de adicionar valores para tornar los colores más vivos en el producto final.

La componente I (intensidad) fue sustituida por la banda C del ERS-1.

Finalmente fue realizada la transformación IHS inversa, obteniéndose como imagen resultante una composición falso color que reúne las características de LANDSAT y ERS-1.

La siguiente figura ilustra el proceso de transformación para la combinación de las dos imágenes.

ANALISIS DE RESULTADOS

Una buena precisión en el ajuste fue el objetivo de esta investigación, con la metodología anteriormente citada se ha logrado en buena parte esta meta. El número de puntos de control, la precisión con la que fueron determinados, el grado del polinomio de transformación y la suave topografía contribuyeron para que se tenga un buen registro como producto final.

La imagen falso color, obtenida con la integración de las bandas de la imagen TM LANDSAT y la banda C de la imagen SAR - ERS-1 reúne las características de las dos imágenes componentes. La gran ventaja de esta imagen

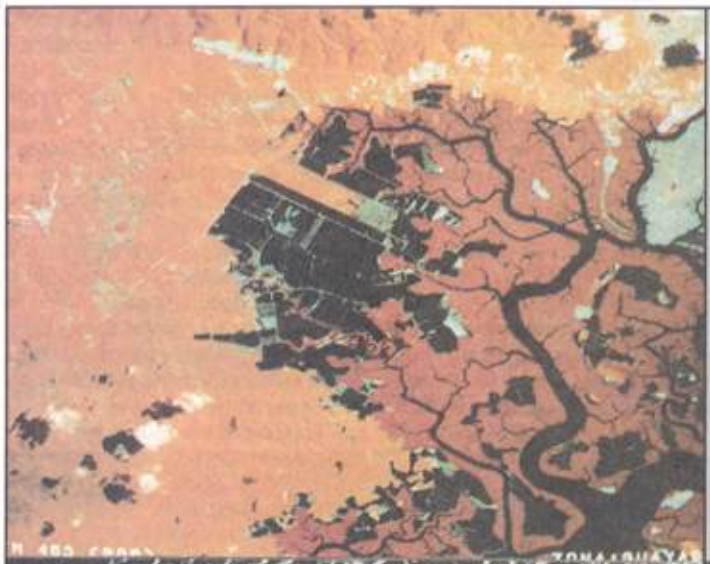


Imagen original TM, composición bandas 4,5,3 (RGB), zona de Guayas.

Imagen original ERS-1 - SAR, banda C, zona de Guayas.

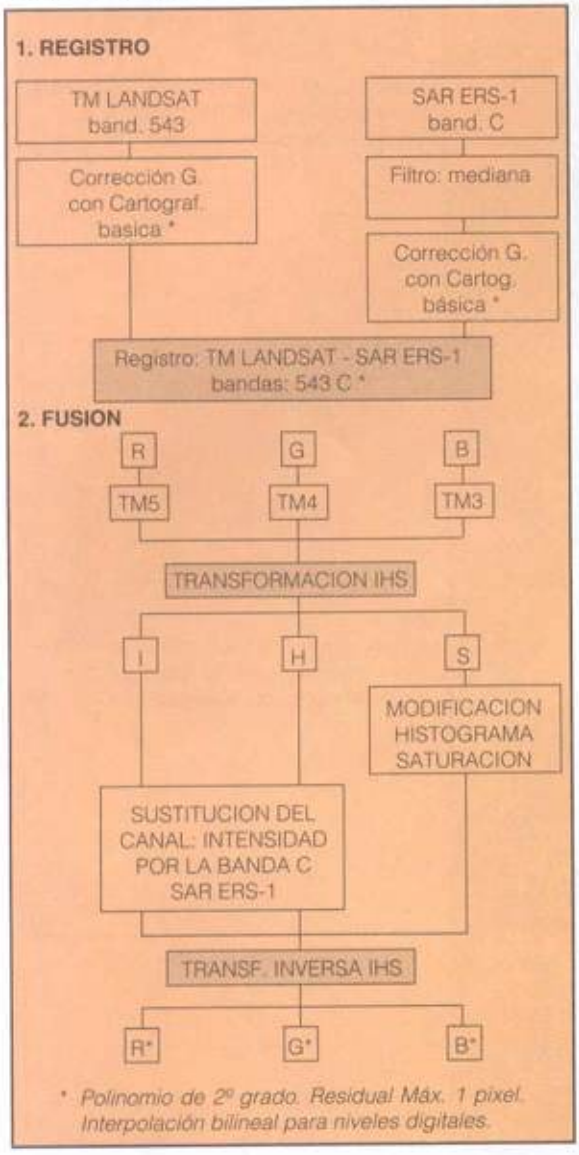
Sinergismo LANDSAT TM / ERS-1 - SAR transformación (RGB) / (SAR I.H.S.), zona de Guayas.

Sinergismo LANDSAT TM/ERS-1 - SAR transformación (RGB) / (SAR I.H.S.), sector de zona de Guayas.

Sinergismo LANDSAT TM/ERS-1 - SAR transformación (RGB) / (SAR I.H.S.), sector de zona de Guayas.

Sinergismo LANDSAT TM/ERS-1 - SAR transformación (RGB) / (SAR I.H.S.), zona de Sangolquí.

es que simultáneamente ella ofrece, por una parte, las propiedades importantes de las microondas, tales como: Penetración en las nubes, penetración en la lluvia, independencia de energía emitida por el sol, penetración en las copas de los árboles y una interacción con la materia en función de las propiedades del terreno (constante dieléctrica y rugosidad de la superficie) diferente a la interacción de las longitudes de onda del visible y del infrarrojo usado en las técnicas tradicionales de la percepción remota. Y, por otra parte, el poder espectral de las imágenes TM LANDSAT.



El producto resultante del sinergismo TM LANDSAT/ SAR ERS-1 además de la facilidad que permite extraer toda la información de un único producto, es mejor para la interpretación visual que se realiza de manera más precisa, en este caso, en lo que se refiere a la infraestructura camaronera, lo cual permitirá una identificación exacta de las piscinas.

La información SAR ERS-1 coadyuva para este fin debido a que las paredes de las piscinas se comportan como reflectores de esquina, es decir, dan lugar a reflexiones especulares en dirección a la antena, originando puntos brillantes que permiten la fácil identificación, sin importar las condiciones de nubosidad.

La respuesta espectral de LANDSAT sumada a la habilidad del Radar de Apertura Sintética para discriminar entre cuerpos húmedos, agua y superficies secas hace que este producto en el futuro se convierta en un instrumento adecuado para el uso de estos datos en el estudio de las condiciones de humedad del suelo.

El producto final guarda las características espectrales de LANDSAT e incrementa la característica de rugosidad propia de RADAR, resuelve el problema de la nubosidad; en la zona urbana permite distinguir las áreas de mayor densidad de construcción, permite también discriminar las carreteras, las cuales se encuentran realzadas.

Los lineamientos, geológicamente hablando, se presentan con mayor claridad en la imagen resultante, producto de la aportación del relieve de los datos SAR ERS-1 y de la característica del color de la vegetación de los datos TM LANDSAT.

Gracias a la resolución y a las características de retrodispersión de RADAR, es fácil identificar los barcos que se encuentran en la zona de estudio, como se puede observar en la siguiente fotografía.

En lo que tiene relación con la zona de estudio de Sangolquí, no se obtuvo una buena superposición de las imágenes debido a la topografía del terreno, que a pesar de ser un valle, está distorsionado por las elevaciones circundantes en la imagen RADAR. Sin embargo se obtuvo el siguiente producto en el cual se puede visualizar el uso del suelo en zonas de fuerte relieve:

Actualmente, en varios centros de investigación, se están realizando trabajos para lograr un mejor procesamiento de las imágenes RADAR con la aplicación de sofisticados filtros para eliminar el SPEACKLE y el ruido y con modelos de terreno para mejorar la corrección geométrica en relieves pronunciados.

Se espera que estos tipos de aportes coadyuven para el mejor aprovechamiento de esta técnica de registro en zonas de fuerte topografía.

BIBLIOGRAFIA

DAILY, M. **Hue-Saturation-Intensity Split-Spectrum Processing of SEASAT Radar Imagery.** *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1983.*

DUTRA, L. V.; FORESTI, C.; MENESES, P. R.; OLVIEIRA KURKDJIAN, M.L.N. **Utilização de transformação IHS para a integração de imagens de diferentes resoluções.** *Brasil, 1988.*

ESA. **The European Remote Sensing Satellite ERS-1 Data book,** *1991.*

GUEVARA, C. M. **Actualización de áreas urbanas, utilizando la transformación IHS,** *Brasil, 1990.*

MASCARENHAS, N. D. A.; VELASCO, F. R. **Processamento Digital de Imagens,** *Brasil, 1989.*

ERS-1 : EL ESPACIO AL SERVICIO DE NUESTRO AMBIENTE

Laurent POLIDORI

AEROSPATIALE, Cannes (FRANCE)

En el mes de noviembre de 1992 la ESA (Agencia Espacial Europea) organizó en la ciudad de Cannes (Francia) el primer simposio dedicado al satélite ERS-1. Para cerca de 400 investigadores, principalmente europeos, este evento fue la oportunidad de intercambiar ideas y resultados despues de un año de funcionamiento del satélite. Sacándose conclusiones sobre la calidad de los datos proporcionados hasta ahora por los diferentes sensores del ERS-1 y más que todo por el SAR (Radar de Apertura Sintética). Por otra parte, resultados sumamente prometedores fueron presentados en varios campos de aplicación de estos datos. Estos resultados provienen de estudios experimentales llevados a cabo por laboratorios europeos de investigación y patrocinados por la ESA.

CALIDAD DE LOS DATOS

Según las conclusiones de la sesión dedicada a la calibración del SAR, la calidad de las imágenes, tanto radiométricas como geométricas, es casi perfecta. Los representantes de la ESA presentaron los resultados de las mediciones llevadas a cabo durante un año para estudiar la evolución del nivel de ruido y la estabilidad de los diferentes parámetros instrumentales. Los usuarios también tienen exigencias en cuanto a la calibración de los datos, y los investigadores de la ESA y de los laboratorios asociados intercambiaron informaciones sobre la calibración relativa (el SAR debe dar la misma respuesta si observa la misma superficie) y la calibración absoluta (el valor de esta respuesta debe corresponder exactamente a la energía reflejada por la superficie). Se usaron instrumentos de calibración, pasivos y activos, para los cuales se conoce exactamente la respuesta teórica, así que se pueden hacer correcciones en caso de pequeñas diferencias.

Al finalizar la sesión se dijó en broma que gracias al ERS-1 habían calibrado los instrumentos de calibración.

APLICACIONES TEMATICAS DEL SAR

Oceanografía

El satélite ERS-1 fue diseñado, más que todo, para aplicaciones oceanográficas esencialmente, y muchos resultados fueron presentados en este campo. Modelos anteriormente desarrollados y validados con el SEASAT fueron refinados con las imágenes del SAR para investigaciones de oceanografía física relacionadas con fenómenos muy variados como corrientes, remolinos, olas internas, vientos de superficie. Varios laboratorios interesados en modelos climáticos globales pudieron sacar provecho de la sensibilidad del SAR al estado de la superficie del mar.

Aunque las ondas de radar no penetran en el agua, permiten detectar bancos de arena en el fondo del mar por el cambio que producen en las características de las olas. El fenómeno ya se había observado con las imágenes del SEASAT. Las imágenes permitieron llevar a cabo estudios de batimetría y aplicarlos al estudio de fenómenos costeros (geomorfología, hidrología).

Fuera de las investigaciones puramente científicas, los datos del ERS-1 fueron empleados para aplicaciones operacionales tales como el control de la contaminación (manchas de aceite) o del tráfico de barcos (el SAR es muy sensible a la estela de los barcos). En la figura 1, donde cada color (azul, verde y rojo) representa una fecha diferente, la superposición multitemporal de 3 imágenes del SAR permite distinguir límites de predios agrícolas, variación de mareas y otros fenómenos. En la figura 2, correspondiente a una sola fecha con colores reales simulados, se aprecian detalles agrícolas, urbanos y de oleaje en forma muy nítida. Ambos ejemplos corresponden al Norte de Holanda.

Cartografía y Geociencias

Debido a sus características instrumentales y sobre todo a su ángulo de incidencia muy estrecho (23°) el SAR del satélite ERS-1 es muy sensible al relieve terrestre. Esta sensibilidad consiste en fenómenos de deformación que pueden ser considerados como defectos por los usuarios interesados en el estado de la superficie ya que vuelven el análisis más difícil. Pero son muy valiosos para aquellos usuarios interesados en observar, medir y mapear las formas del terreno: ingenieros civiles, geólogos, cartógrafos.

Algunas aplicaciones geológicas de las imágenes del SAR fueron presentadas en el simposio: estudios geomorfológicos y morfotectónicos en zonas de selva tropical (Guyana, Venezuela); análisis de procesos volcánicos en islas del Pacífico; observación del estado de superficies en zonas desérticas.

Los resultados de la llamada técnica de interferometría, tanto para aplicaciones topográficas como geofísicas, tuvieron mucho éxito. En efecto, la comparación de imágenes del SAR tomadas desde órbitas muy cercanas permiten detectar variaciones espaciales o temporales del orden de la longitud de onda (5 cm). Fuera de la capacidad de construir modelos digitales de terreno con una precisión de algunos metros, eso tiene como consecuencia la posibilidad de detectar movimientos centimétricos afectando áreas extensas. Las

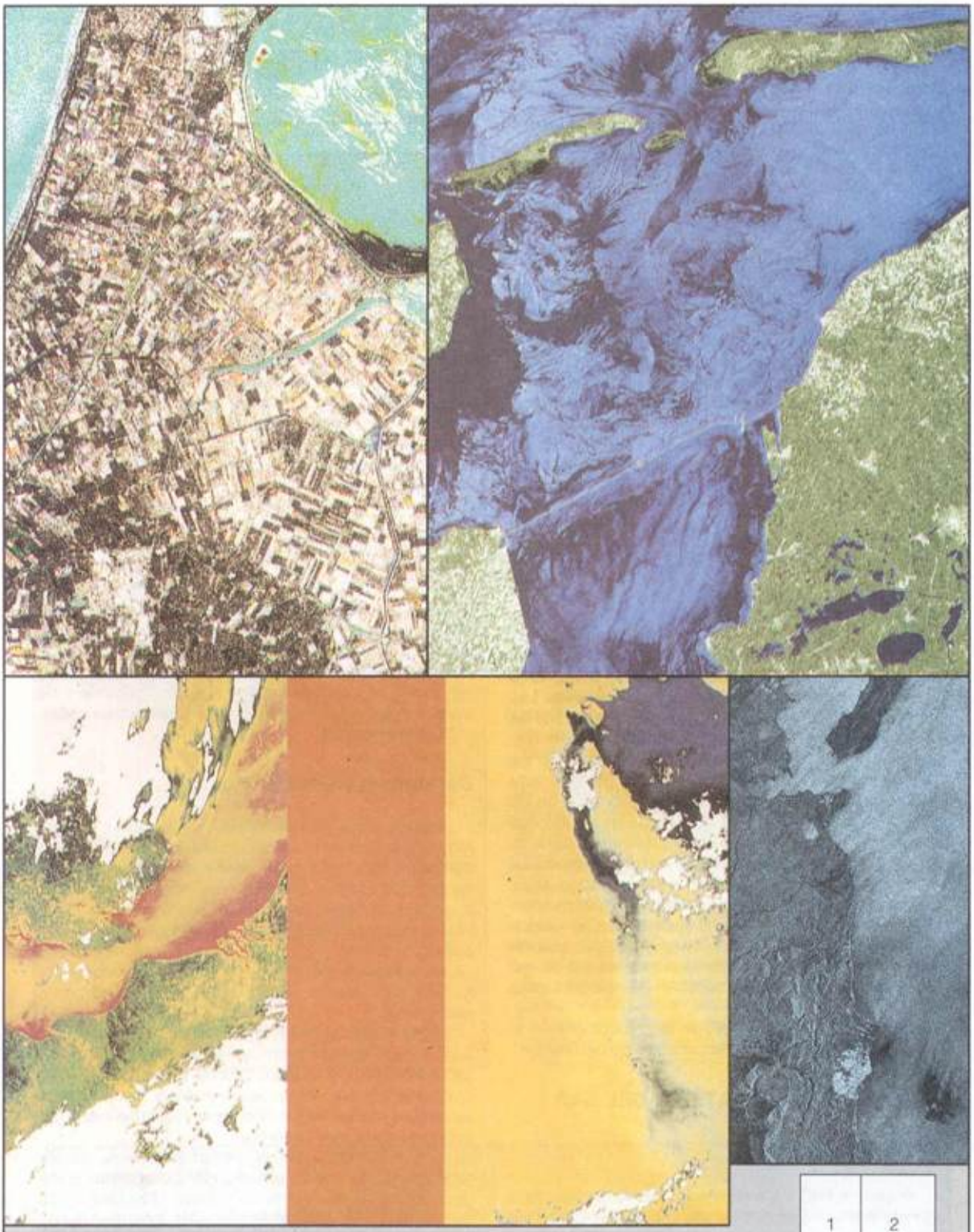


FIGURA 1. COMPOSICION MULTITEMPORAL EN COLOR SOBRE EL NORTE DE HOLANDA.
FIGURA 2. SIMULACION DE COLOR REAL PARA UNA FECHA, NORTE DE HOLANDA.
FIGURA 3a. REPRESENTACION DE TEMPERATURAS EN EL CANAL INGLES Y MAR DEL NORTE.
FIGURA 3b. REPRESENTACION DE TEMPERATURAS DE HUMO CALIENTE EN KUWAIT.
FIGURA 4. SECTOR DE IMAGEN SOBRE EL ESTRECHO DE MAGALLANES (PUNTA ARENAS, CHILE) ADQUIRIDA DESDE LA ESTACION ALEMANA EN LA BASE ANTARTICA CHILENA O'HIGGINS.

1	2	
3a	3b	4

aplicaciones ambientales (observación de deslizamientos) y tectónicas (medición de movimientos de placas), pero también volcánicas, hidrológicas y glaciológicas, apenas se están vislumbrando, y muchas investigaciones quedan por desarrollar.

Estudios Forestales

Con sus parámetros instrumentales únicos (incidencia, frecuencia, polarización) el SAR del ERS-1 no fue diseñado para estudiar la vegetación, pero permitió extraer bastante información en este campo también. Algunos estudios, basados en la segmentación de las imágenes para la detección de cambios, fueron realizados para evaluar la adecuación del SAR para estadísticas agrícolas y predicciones de cosecha.

Sin embargo, la mayoría de las aplicaciones relacionadas con la vegetación son forestales. El SAR fue usado para la detección de cambios estacionales en zonas de selva y para identificar diferentes clases de árboles.

Entre los estudios forestales, el más ambicioso e interesante es el proyecto TREES (Tropical Ecosystem Environment Observations by Satellites). Su meta es la identificación y clasificación de especies de árboles en las selvas tropicales. El interés de este proyecto es que todos los aspectos que puedan influir en la confiabilidad de los resultados son tenidos en cuenta, como los procesamientos radiométricos y geométricos anteriores al análisis, y el nivel de preprocesamiento que se debe exigir.

LOS OTROS SENSORES

Además del Radar de Apertura Sintética, el satélite ERS-1 está llevando una carga útil compuesta de un radar altímetro, un radar dispersómetro y dos radiómetros pasivos (uno térmico, el otro de microondas). Como en el caso del satélite SEASAT, todos estos sensores fueron diseñados en primer lugar para aplicaciones oceanográficas, pero proporcionaron también informaciones muy valiosas para aplicaciones continentales.

El Radar Altímetro

El radar altímetro mide la altura del satélite con respecto a la superficie del mar. Conociendo la órbita, esta medición de altura permite determinar la topografía del mar con una precisión del orden de 10 cm (en promedio sobre áreas de varios kilómetros de extensión). Como se había hecho con el altímetro de SEASAT, se sacó provecho de la sensibilidad del radar a la altura media (estudio de las mareas), a la pendiente (corrientes, remolinos y otros fenómenos de circulación) y a la rugosidad del mar (olas, viento,...). El altímetro es muy adecuado para el estudio de fenómenos de poca amplitud pero que se manifiestan sobre áreas muy grandes. Sus datos permiten alimentar y validar modelos climatológicos a escala planetaria.

Aunque fue desarrollado para estudios oceanográficos, el radar altímetro fue utilizado para aplicaciones topográficas también. Su resolución espacial no permite restituir las geoformas pequeñas, pero las frecuencias bajas del relieve son representadas con un alto grado de confiabilidad. Ha sido posible realizar modelos digitales del Continente Antártico calculado con el radar altímetro. Semejantes mapas pueden ser utilizados para complementar la cartografía de regiones donde sigue haciendo falta, o para registrar datos de mayor detalle pero mal localizados.

El Radar Dispersómetro

Con sus 3 antenas, el dispersómetro fue diseñado para observar las olas desde 3 direcciones complementarias de manera casi simultánea. Anteriormente, otros dispersómetros, en particular el de SEASAT, habían demostrado su aptitud para medir la velocidad y la dirección del viento en la superficie del mar. Por lo tanto, varios laboratorios de meteorología están involucrados en investigaciones aplicando los datos del dispersómetro del ERS-1. Resultados prometedores fueron presentados en el simposio.

Los Radiómetros Pasivos

Además de los sensores activos, el satélite ERS-1 tiene dos radiómetros pasivos. Uno funciona con microondas, el otro en el infrarrojo térmico. Aparte de su uso para las correcciones atmosféricas de los datos del altímetro, los radiómetros tienen varias aplicaciones temáticas basadas en las mediciones de temperatura y humedad en la superficie del mar o de la tierra. Varios resultados fueron presentados sobre la validación de modelos físicos, usando los datos de los radiómetros del ERS-1 por un lado y mediciones de campo o radiosondeos atmosféricos por otro. La figura 3 muestra algunas aplicaciones de modelos de temperatura superficial.

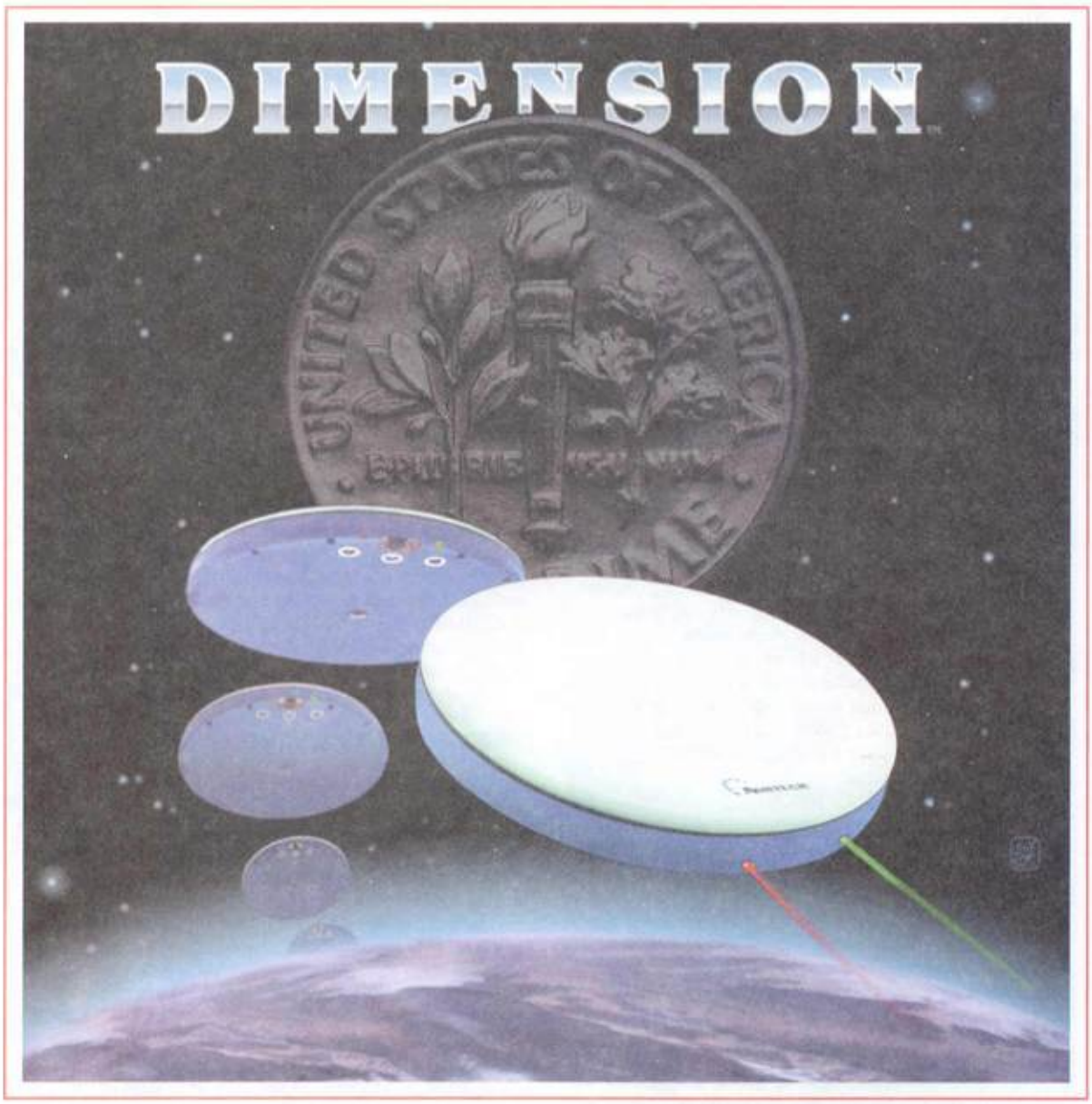
PERSPECTIVAS LATINOAMERICANAS

La mayoría de las aplicaciones temáticas consideradas en este simposio pueden contribuir a los estudios ambientales en América Latina. En efecto, las investigaciones llevadas a cabo por laboratorios científicos están demostrando que el ERS-1 ha dejado de ser estrictamente experimental para volverse una herramienta operacional que puede ser utilizada en casos reales. Además, nuevas aplicaciones se están vislumbrando con la posibilidad de medir parámetros geofísicos y de hacer mediciones de desplazamientos a nivel de la longitud de onda.

Para un uso operacional, otros factores, en particular la frecuencia de las tomas y la disponibilidad de las estaciones receptoras, tienen que ser considerados, y todos los aspectos del sistema (sensor, órbita, recepción y preprocesamiento, precio de los datos) deben ser analizados por los usuarios para la programación eficiente de una aplicación operacional de los datos del ERS-1. La figura 4 muestra un sector de imagen adquirida desde la Estación Alemana en la Base Antártica Chilena O'Higgins, lo que posibilitará importantes estudios en el Extremo Sur de Sudamérica y la Antártica.

CONCLUSION

Aparte del SEASAT, que no duró más de 3 meses en el año 1978, el satélite ERS-1 está llevando el primer radar espacial. Cuando fue lanzado en julio del 1991, la selección de una nueva longitud de onda y el proyecto de usar los datos a nivel operacional constituían un reto grande. Ahora, toda la comunidad científica está convencida del interés del SAR y de los otros sensores para aplicaciones operacionales tan variadas como los inventarios forestales, el mapeo de los riesgos naturales, el control del tráfico y de la contaminación en el mar... La conclusión de este simposio fue que el ERS-1 es realmente un satélite al servicio de nuestro ambiente.



DIMENSION...el receptor GPS compacto con precision igual a las dimensiones de un centavo

- Nivel de precision de milimetros para mediciones estaticas, cinematicas y seudo-cinematicas
- Nivel de precision de decimetros para aplicaciones estaticas
- Nivel de precision de metros para captura dinamica de datos
- 12 canales de rastreo "Todo en vista"
- Hasta 8 Megabytes de memoria interna
- Compacto (9" de diametro), con carcaza de alminio sellada a prueba de agua y de alto impacto que protege la antena GPS, el receptor y la memoria interna
- Completamente automatico...luz verde indica si satelites estan siendo monitoreados e informacion almacenada

- Puertos RS-232 para transferencia de datos y comunicacion simultanea, incluyendo GPS diferencial en tiempo real
- Interface con distintas unidades de control opcionales para control y denominacion de atributos (no requerida para la mayoria de las mediciones en terreno)
- Indicador de nivel de carga de la bateria
- Llame a Ashtech para completa informacion acerca de **DIMENSION**™ asi como tambien de RANGER™, M-XII, CODIGO-P DOBLE y otros receptores GPS Ashtech.

ASHTECH

United States: Ashtech, 1170 Kifer Road, Sunnyvale, CA 94086, Tel: (408) 524-1400 **United States:** Fax: (408) 524-1500
Argentina: Geosistemas SRL, Buenos Aires, Tel: 54-1-342-6580, Fax: 54-1-334-9218
Mexico: Sistemas de Informacion, Col del Valle C.P., Tel: 525-575-4586, Fax: 525-575-2146
Brazil: Georeferencial Ltda., Curitiba, Tel: 55-41-266-7573, Fax: 55-41-268-7444
Chile: Geocom Ltda., Santiago, Tel: 562-274-2558, Fax: 562-204-9636

INTERA

REMOTE SENSING TECHNOLOGY FOR THE 90'S

Intera provides a wide range of remote sensing technologies from data collection through analysis, including; training, technology transfer, and consulting services.

Specialties include:
- Imaging radar for
  - Geological and Forestry Applications
  - Land Use/Agriculture Mapping
  - Cartographic mapping
  - Training programs
- Radar Simulator for all spaceborne radar platforms including ERS-1 and Radarsat
- Forest Penetrating Radar for profiles beneath dense forest canopy
- Environmental Surveillance (Oil Spills, Floods)
- Environmental Impact Studies
- Weather monitoring and modification
- Geographic Information Systems
- Image Processing systems
- Systems Engineering

For information on these services please contact:

INTERA

Ken Link
Intera Kenting
200, 2 Gurdwara Road
Ottawa, Ontario, CANADA K2E 1A2
tel: (613) 226-5442 fax: (613) 226-5529

José Rodriguez
Intera Technologies
2500, 101 - 6th Avenue S.W.
Calgary, Alberta, CANADA T2P 3P4
tel: (403) 226-0900 fax: (403) 265-0499

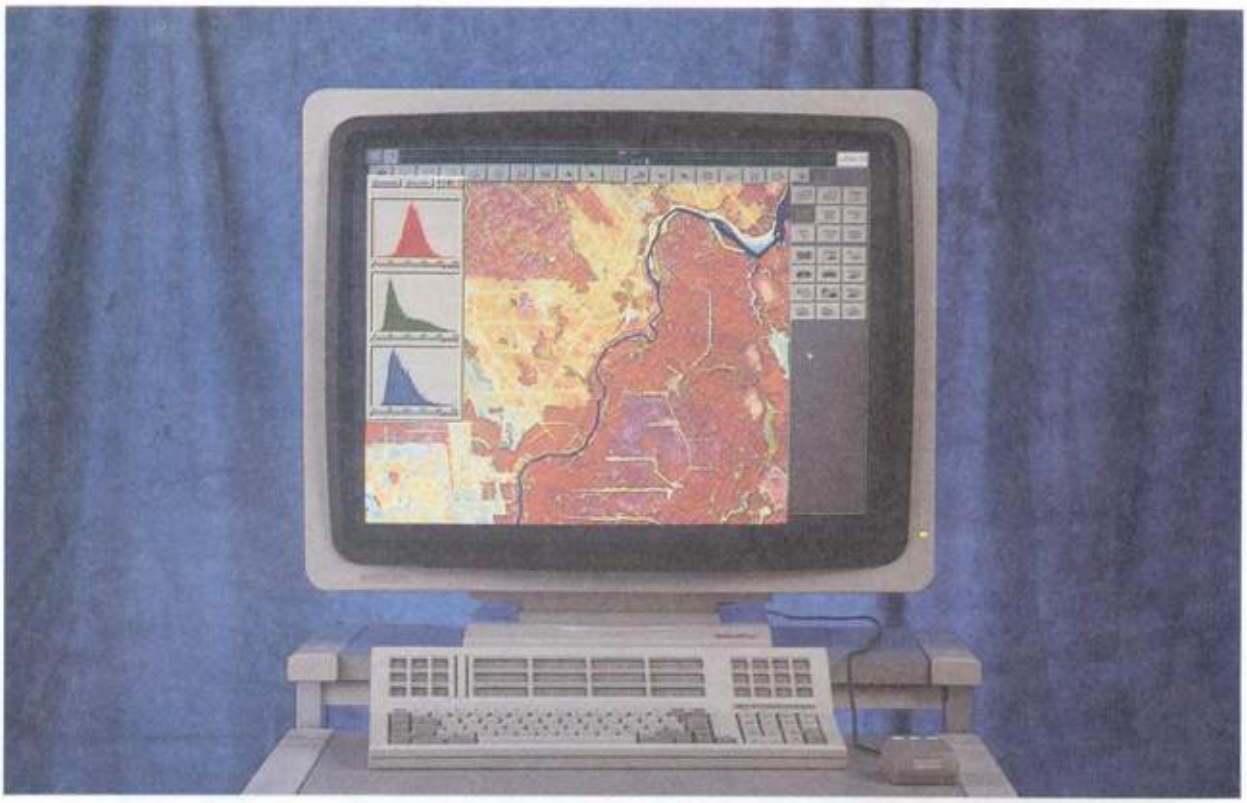
MACDONALD DETTWILER

The Systems Engineering Company

Systems for:
Earth Observation, Environmental Monitoring, Resource Management and Geographic Information Management

13800 Commerce Parkway, Richmond, British Columbia, Canada V6V 2J3
Telephone: (604) 278-3411 Fax: (604) 278-2117

The Perfect Partnership Of High-Performance Imaging And Sophisticated Graphics.



The future belongs to those who define it... and the future of graphics and imaging systems has been defined by Intergraph® and VITec.
Announcing the Intergraph ImageStation 6187™, a new standard for RISC-based workstations that tightly integrates the worlds of sophisticated graphics and high-performance imaging.

ImageStation 6187
The ImageStation 6187 integrates VITec's imaging chip-set with Intergraph's EDGE II™ graphics subsystem establishing a new performance benchmark for graphics and imaging workstations.

For Application Developers and users in GIS, C3I, Medical and Scientific Visualization markets, this means unprecedented processing speeds of 25,000 polygons per second, 300 MOPS (Million Operations Per Second) and 18 MFLOPS on raster image data.

Open Environment
The ImageStation 6187 is fully compatible with all other Intergraph RISC systems, and incorporates available industry standards such as the X Window System™, the UNIX™ Operating System, and leading networking protocols.

For more information–or a look at the future of workstation technology–call Intergraph at 800-826-3515 or 772-2700 in Huntsville, Alabama.

INTERGRAPH
&
VITec
The Imaging Alliance.

Intergraph is a registered trademark and EDGE II is a trademark of Intergraph Corporation. UNIX is a trademark of AT&T Bell Labs. X Window System is a trademark of MIT. Image Data courtesy of SPOT Image Corporation.

VI²STA software de percepción remota y modelamiento espacial

VI²STA™ es un completo juego de módulos de software de procesamiento de imágenes para percepción remota, creado para satisfacer las necesidades de los profesionales en manejo de recursos naturales, geología y control ambiental.
Con 20 años de experiencia desarrollando y manteniendo software, hardware y sistemas completos de percepción remota, I2S diseñó VI²STA específicamente para lograr el máximo de rendimiento en estaciones de trabajo y computadores de consola basados en UNIX.

X-Windows

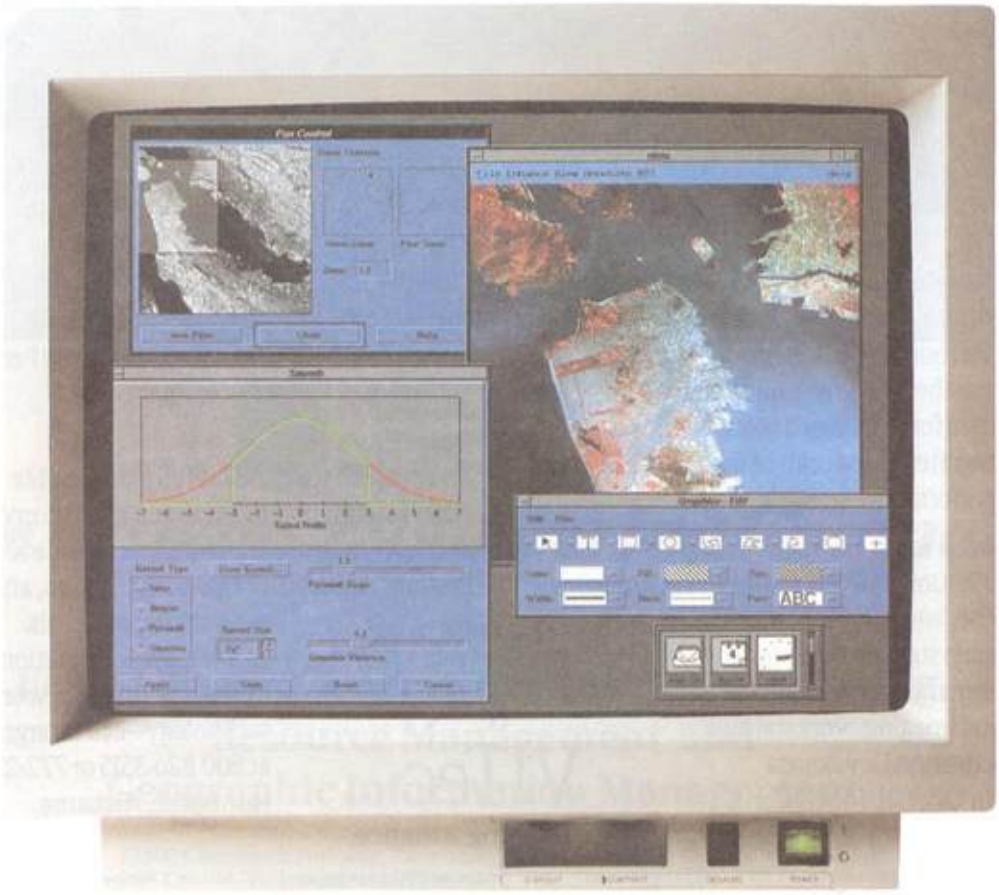
- Trabaja en Sun SPARCStation*, Silicon Graphics*, HP Apollo* y computadores 386/486 teniendo UNIX.
- Dócil despliegue X-Windows/MOTIF con múltiples ventanas de imágenes
- Interface gráfica para el usuario tipo apunte/dispare (point-and-click).
- Trabaja con separadores de bandas de 8 ó 24 bits
- Tamaño de imagen ilimitado con ampliación (zoom) y selección de área (roam) virtual
- Anotación/edición interactiva de información raster/vector superpuesta en imágenes raster

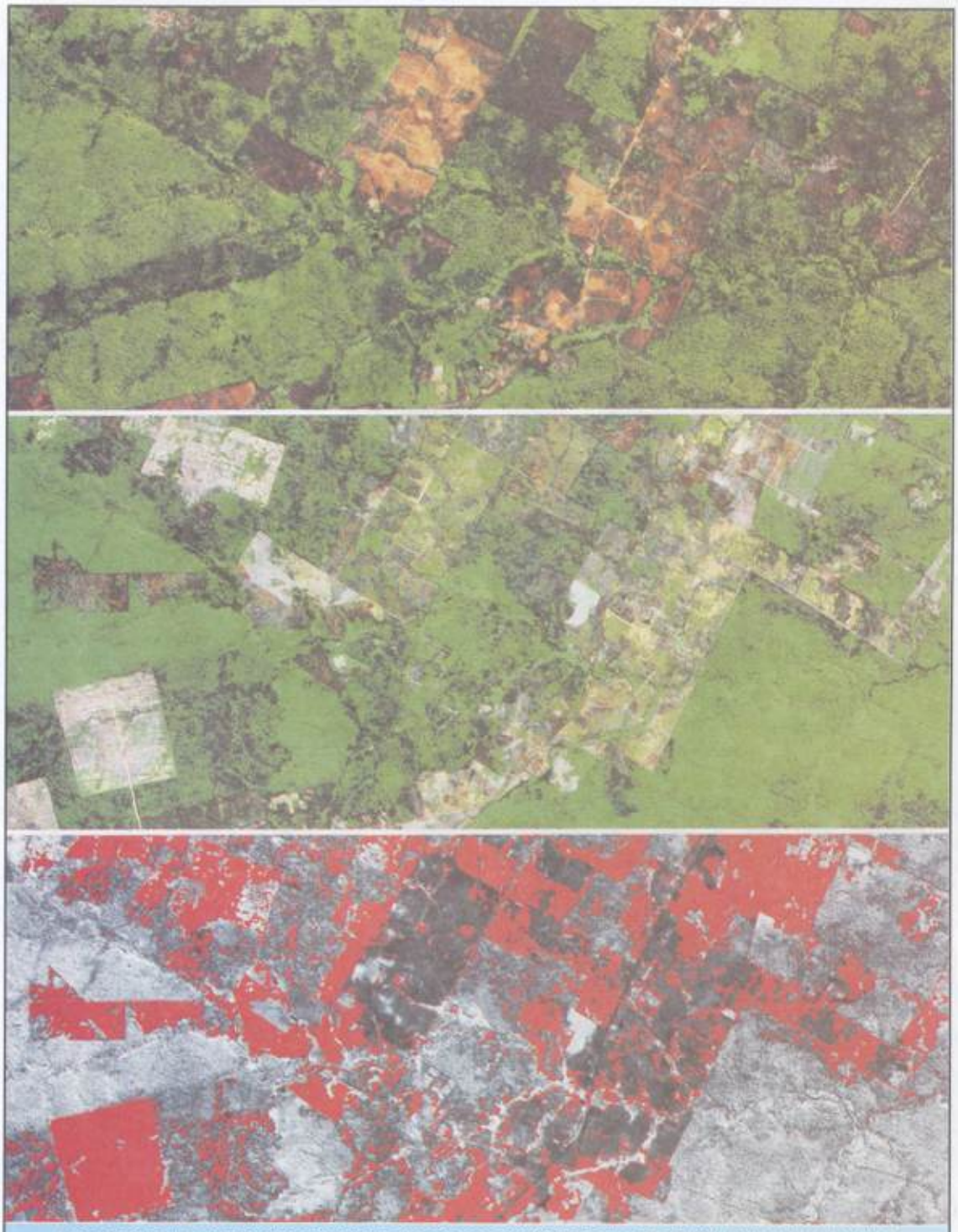
Rasgos Claves

- Incluye formatos comunes de intercambio de datos
- Compatible con un amplio rango de dispositivos de entrada y salida (I/O)
- Sobre 300 funciones (algoritmos) disponibles, incluyendo realce de imágenes, funciones geométricas, clasificación, modelamiento espacial, filtros, manejo de información de vectores, apoyo SIG y presentación de datos
- Conversión raster-vector y vector-raster
- Acepta información satelital en cualquiera de los 26 formatos
- Mantiene 24 tipos de proyecciones de mapas
- Módulo de modelamiento raster SIG
- Completo apoyo al usuario y un año de garantía incluido en el precio de venta

Para mayores detalles, llame o escriba a: International Imaging System, 1500 Buckeye Drive, Milpitas, California 95035, Tel. 408/432-3400, Fax 408/433-0965

*Marcas Registradas de sus respectivas compañías.





SECTORES DE IMAGENES SPOT SOBRE EL ESTADO AMAZONICO DE PARA EN BRASIL, DEL 15/07/86 (ARRIBA) Y 22/07/89 (CENTRO). LAS ZONAS DEFORESTADAS EN EL PERIODO APARECEN EN ROJO (ABAJO).

cnes

CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES
2, Place Maurice Quentin. 75039 Paris Cedex 01.
FRANCE. Tel: 45.08.75.68, Fax: 45.08.77.73

SPOT IMAGE
16 bis, avenue Edouard-Belin
31030 Toulouse Cedex - France

SPOT IMAGE

DLR

Establecimiento Alemán de Investigación Aeroespacial (DLR)

DLR Raumfahrt

Area Espacial

Transportadores Espaciales
- Vuelo Hipersónico y Problemas de Reentradas en la Atmósfera
- Tecnologías Orbitales
- Tecnologías de Cohetes

Aplicación de Tecnologías Espaciales
- Comunicación y Técnicas de Localización
- Sistemas de Exploración
- Exploración del Medioambiente
- Ciencia de los Materiales y Ciencias Biológicas

Tareas relacionadas con Misiones Espaciales
- Centros Espaciales
- Sistemas de Control en Tierra
- Proyectos de Misiones Espaciales

Tareas organizativas en el área espacial
- Ejecución de Proyectos vinculados con Ciencias y Técnicas Espaciales
- Otras tareas organizativas en el área espacial

Area Aeronáutica

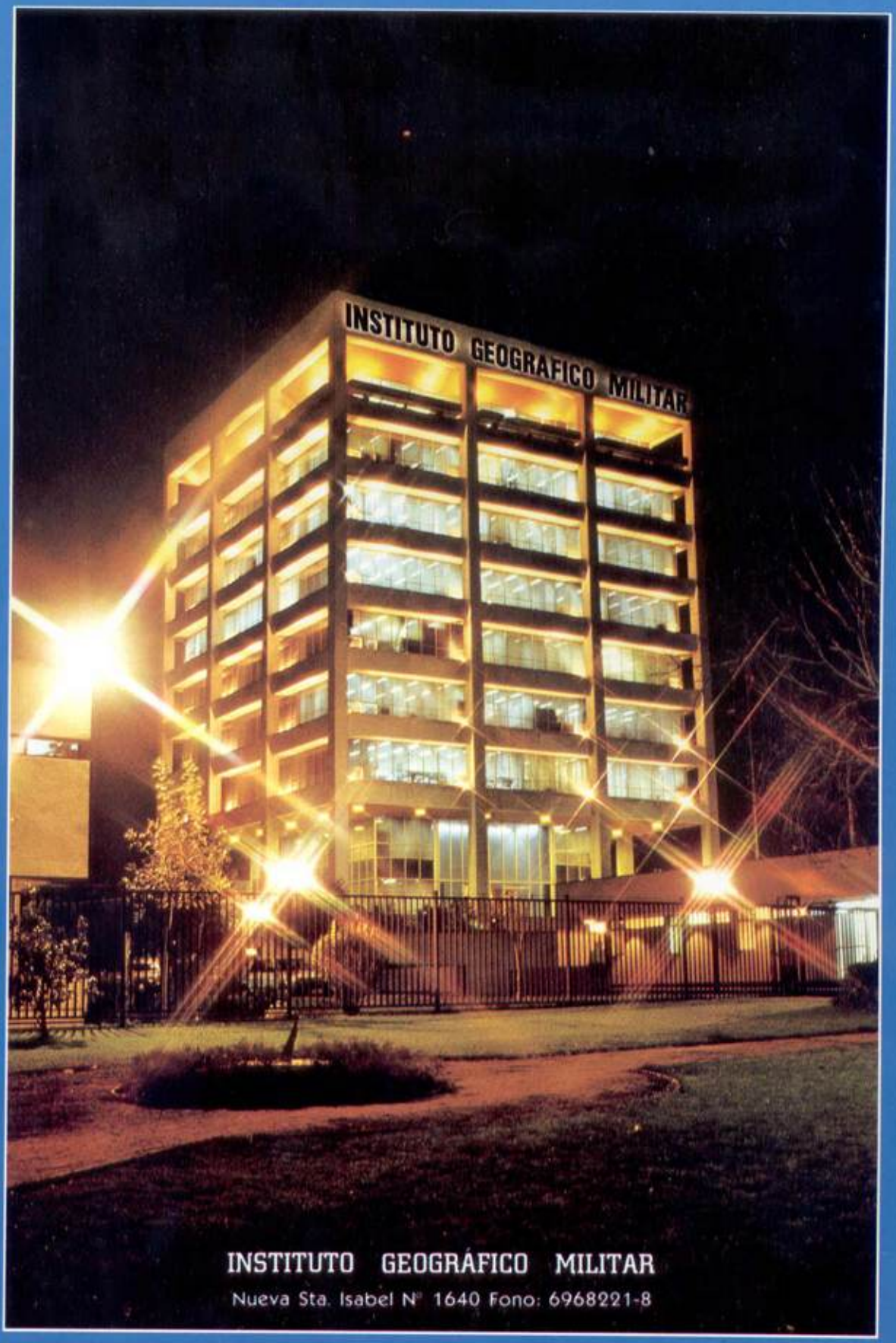
- Navegación y Seguridad de Vuelo
- Tecnología de Aviación Civil
- Tecnología de Aviones de Combate
- Tecnología de Helicópteros
- Tecnología de Motores a Reacción
- Elementos de Diseño y Simulación

Técnicas Energéticas

- Técnicas de Combustión
- Energía Solar y de Hidrógeno
- Laser de Alta Energía

DLR Luftfahrt

DEUTSCHE FORSCHUNGSANSTALT FÜR LUFT-UND RAUMFAHRT Internationales Büro (DLR-IB). Linder Höhe, D-5000 Köln 90, Deutschland./(DLR) D-8031 Oberpfaffenhofen, Deutschland Telephone (08153) 28897, T-fax (08153) 281343, Tlx 5270287 dadf d



INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

Nueva Sta. Isabel N° 1640 Fono: 6968221-8

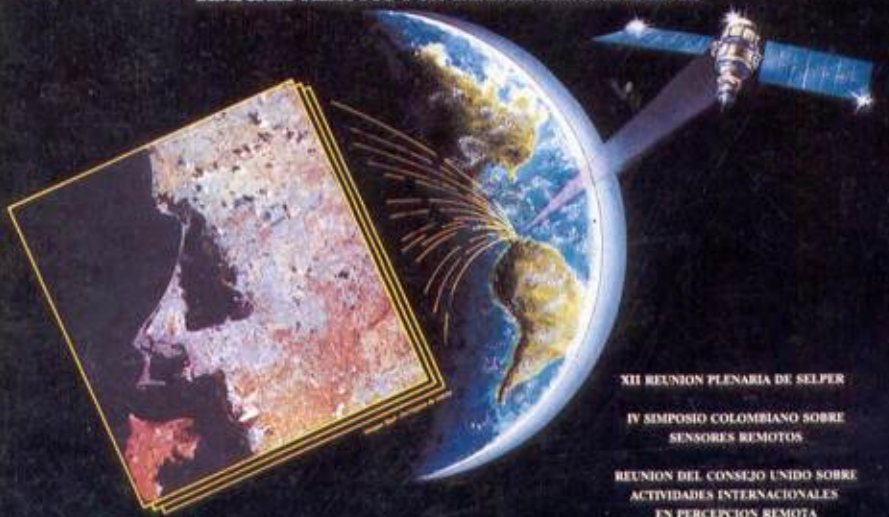
SOCIEDAD LATINOAMERICANA DE ESPECIALISTAS EN PERCEPCION REMOTA

SELPER-Capitulo Colombia

VI SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA

VI LATIN AMERICAN REMOTE SENSING SYMPOSIUM

SENSORES REMOTOS Y SIG PARA EL MEDIO AMBIENTE



XII REUNION PLENARIA DE SELPER

IV SIMPOSIO COLOMBIANO SOBRE SENSORES REMOTOS

REUNION DEL CONSEJO UNIDO SOBRE ACTIVIDADES INTERNACIONALES EN PERCEPCION REMOTA (JOBRESA)

Cartagena OCTUBRE 3-8 DE 1993

COLOMBIA-SURAMERICA

TALLER RADARSAT-CANADA
SANTAFE DE BOGOTA

ORGANIZADORES

PATROCINADORES

SEDES SELPER

ECUADOR	CHILE	BRASIL	ARGENTINA	PERU	COLOMBIA	MEXICO	VENEZUELA
1980 - 1983	1983 - 1986	1986 - 1989	1989 - 1991	1991 - 1993	1993 - 1995	1995 - 1997	1997 - 1999

VICE PRESIDENTE SELPER
ING. MIGUEL SANCHEZ-PEÑA
Presidente SELPER (1989 - 1991)

Paunero 1821. (1640) Martinez. Buenos Aires
Argentina. Tel.: (54.1) 792.3418 y 322.7319
Tlx: (54.1) 24117 AGEZA. Fax: (54.1) 325.8245

DIRECTOR EDITORIAL SELPER
PROF. MAURICIO ARAYA-FIGUEROA
Presidente SELPER (1983 - 1986)

Presidente Madero 795 (Ñuñoa). Santiago, Chile.
Tel: (562) 6967583; Tlx: (562) 240501 BOOTH CL;
Fax: (562) 6981474

PRESIDENTE SELPER
ING. WALTER DANJOY - ARIAS
Sede SELPER Perú (1991 - 1993)

ONERN. Apartado Postal 4992
Tel.: (51.14) 410425 - Fax: (51.14) 414606
Lima, Perú

IMPRESO EN LOS TALLERES GRAFICOS DEL INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR DE CHILE
Nueva Santa Isabel 1640. Santiago, Chile. Tel: (0562) 6968221; Tlx: (0562) 441677; Fax: (0562) 6988278